Die

Theorie des Augenspiegels

und die

Photographie des Augenhintergrundes.

Von

Dr. Walther Thorner,
Assistent der Universitäts-Augenklinik der Königl. Charité zu Berlin.

Mit 64 Figuren im Text und 3 Tafeln.

Berlin 1903.
Verlag von August Hirschwald.
NW. Unter den Linden 68.

Vorwort.

Seit einer Reihe von Jahren bin ich mit Untersuchungen beschäftigt gewesen, die die ophthalmoskopischen Beobachtungsmethoden zum Gegenstande hatten. Dieselben nahmen ihren Ausgang von der Aufgabe, den Augenhintergrund beim Lebenden zu photographieren, welche ich in meiner Dissertation im Jahre 1896 ausführlich behandelt habe. Obgleich die Methode, die ich damals anwandte, schon einen gewissen Teil des Augenhintergrundes zur Abbildung brachte, war sie dennoch weit von einer befriedigenden Lösung der Aufgabe entfernt. Der Apparat, welcher zur Photographie diente, war im wesentlichen aus der Anordnung zur Untersuchung im umgekehrten Bilde hervorgegangen, und dieselben Mängel, die dieser Methode bei der subjektiven Untersuchung anhaften, traten in erhöhtem Maße auf der Photographie hervor. Das Gesichtsfeld und die Vergrößerung waren verhältnismäßig gering, am meisten störten aber die zahlreichen Reflexe, die an der Beobachtungslinse und der Hornhaut auftraten. Indem ich dann weitere Versuche über diesen Gegenstand anstellte, richtete ich vor allem das Bestreben darauf, die Reflexe vollständig beseitigen zu können. Da die vorhandenen Methoden der Immersion und der Anwendung des polarisierten Lichtes sich als nicht genügend erwiesen, so versuchte ich, auf rein geometrischem Wege denselben Zweck zu erreichen. Es gelang endlich, ein Prinzip zu finden, das es ermöglicht, nur durch die räumliche Anordnung gewisser Blenden die Strahlen, welche das Bild erzeugen, von denjenigen, welche den schädlichen Reflex bilden, in jedem Falle zu trennen. Dieses Prinzip, welches ich in Kapitel II als „die geometrische Methode zur Beseitigung der Reflexe“ ausführlich schildern werde, erwies sich als geeignet, eine Reihe von weiteren Aufgaben der Ophthalmoskopie zu lösen. Zunächst ergab sich aus ihm die Konstruktion eines stabilen reflexlosen Augenspiegels, bei dem die für die Konstruktion

anderer optischer Instrumente maßgebenden Gesichtspunkte zur Anwendung kommen konnten, was bisher durch die Reflexe stets verhindert worden war. An diesem stabilen Instrument ließ sich dann eine Vorrichtung anbringen, die die objektive Bestimmung der Refraktion auf leichte Weise gestattete. Dasselbe Prinzip ermöglichte es auch, einen stereoskopischen Augenspiegel herzustellen, bei dem eine starke plastische Wirkung erzielt werden konnte. Das gleiche war für ein stereoskopisches Okular der Fall. Endlich ist es mir jetzt nach längeren Versuchen möglich geworden, auch den Augenhintergrund nach diesem Prinzip schnell und sicher zu photographieren. Die Methode wird im Kapitel VI ausführlich geschildert werden. Damit haben meine Untersuchungen über die Ophthalmoskopie einen gewissen Abschluß erlangt, und es schien mir angebracht, die gesamten Betrachtungen, aus denen die einzelnen Konstruktionen hervorgegangen sind, die teilweise in verschiedenen Zeitschriften zerstreut, teilweise, wie namentlich diejenigen über die Photographie, noch nicht veröffentlicht sind, an dieser Stelle in der Weise, wie sie auseinander folgen, im Zusammenhange zu entwickeln.

Berlin, im August 1903.

Walther Thorner.

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Untersuchung im aufrechten und im umgekehrten Bilde.

Nachstehend werde ich die wichtigsten vorhandenen Methoden der Augenspiegel-Untersuchung schildern, und zwar die zum Verständnis derselben notwendigen optischen Gesetze zunächst in derjenigen Form anführen, in der dies gewöhnlich zu geschehen pflegt; es wird dagegen nicht beabsichtigt, eine ausführliche Geschichte des Augenspiegels zu geben, soweit sie sich auf die zahlreichen vorhandenen Modifikationen ohne eigentliche Aenderung der Grundprinzipien erstreckt.

Schon sehr frühzeitig war es bekannt, daß die Augen gewisser Tiere die Fähigkeit hatten, unter bestimmten Umständen zu leuchten. Diese Erscheinung wurde allgemein einer Phosphoreszenz des Auges zugeschrieben. Eine interessante bildliche Darstellung dieses Vorganges stammt aus dem Jahre 1674 und ist in der Monographie „Der Gelehrte" von Dr. E. Reicke, Stadtbibliothekar in Nürnberg abgedruckt[1]). Dieselbe trägt die Unterschrift: „Kardinal Crescentius sieht eine Spukerscheinung". Auf diesem Bilde sieht man den Kardinal an einem Tische sitzen, vor ihm steht eine Kerze und auf der anderen Seite des Zimmers gerade in der Verlängerung der Verbindungslinie zwischen den Augen des Kardinals und der Kerze ist ein Hund abgebildet, dessen Augen von einem hellen Scheine umgeben sind. Aus dieser Darstellung geht hervor, daß man sich wahrscheinlich schon damals bewußt war, daß die Augen der Tiere dann besonders hell leuchten, wenn sich die Gesichtslinie des Beobachters und die Richtung der Beleuchtungsstrahlen ungefähr decken.

Eine andere wichtige Tatsache wurde im Jahre 1704 von Méry gefunden und der Académie des sciences in Paris mitgeteilt. Diesem Beobachter gelang es, indem er eine Katze mit dem Auge unter Wasser tauchte, bei hellem Tageslicht die Gefäße auf der Netzhaut derselben

1) Siehe Zehender's klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde. 1902. S. 239.

deutlich zu sehen. Durch das Wasser, welches ungefähr den gleichen Brechungsexponenten wie die durchsichtigen Medien des Auges hat, wurde die Wirkung der Hornhaut ausgeschaltet, und die Strahlen verließen nicht mehr parallel, sondern stark divergierend das Auge. Infolgedessen verhielt sich die Netzhaut unter diesen Bedingungen wie jeder andere Körper der Außenwelt und war ebenso leicht sichtbar. Méry selbst fand nicht die Erklärung für diese Erscheinung, sondern De la Hire im Jahre 1709, welcher das Phänomen genauer studierte, machte auf die Ausschaltung der Brechkraft der Hornhaut aufmerksam.

Die Kenntnis dieser beiden Tatsachen, des Augenleuchtens und des Experimentes von Méry, hätten allein genügt, zur Erfindung des Augenspiegels zu führen. Es sollte aber dennoch nahezu 150 Jahre dauern, ehe dieses Instrument in die Wirklichkeit trat. Prevost gab dann im Jahre 1810 die richtige Erklärung für das Augenleuchten der Tiere insofern, daß es sich hier nicht um eigenes Licht handelt, das vom Auge ausgesandt wird, sondern nur um das vom Tapetum reflektierte Licht. Der nächste Schritt auf dem Wege wurde durch Cumming 1846 und unabhängig von ihm ein Jahr später von Brücke getan. Diese Beobachter fanden, daß nicht nur die Augen derjenigen Tiere, die ein Tapetum besitzen, unter günstigen Umständen leuchten, sondern daß dasselbe auch bei menschlichen Augen bei einer bestimmten Versuchsanordnung stattfindet. Brücke stellte dazu eine Kerze dicht vor seinem eigenen Auge auf, ließ den Beobachteten an der Kerze vorbeisehen, aber nicht auf dieselbe akkommodieren. Sein eigenes Auge schützte er vor der direkten Blendung durch einen undurchsichtigen Schirm, an dessen Kante er dicht vorbeisah. Seine Sehlinie mußte unmittelbar neben der Richtung der beleuchtenden Strahlen verlaufen.

Brücke hatte damit mehrere wichtige Tatsachen festgestellt, die zur Wahrnehmung des Augenleuchtens erforderlich sind:

1. Die Beleuchtungsstrahlen und die Beobachtungslinie müssen annähernd zusammenfallen.

2. Der Beobachtete darf nicht auf die Lichtquelle akkommodieren.

3. Der Beobachter muß gegen die direkte Blendung durch einen undurchsichtigen Schirm geschützt werden.

Der dritte Punkt erscheint unwichtig und wird für gewöhnlich nicht besonders aufgeführt. Wir werden aber später sehen, daß gerade hierauf der größte Wert zu legen ist. Beim menschlichen Augenhintergrunde, welcher ein verhältnismäßig so sehr schwaches Licht zurückwirft, ist eine gute Abblendung des Nebenlichtes mindestens ebenso wichtig, als die richtige Anordnung der optischen Teile.

Annähernd um dieselbe Zeit zeigte von Erlach, daß man auch mittelst der Spiegelung in einem Brillenglase imstande ist, den Reflex eines Lichtes so auf das Auge der beobachteten Person zu werfen, daß dieses für den Beobachtenden leuchtend erscheint. Es trat dies immer dann ein, wenn sich für den Beobachteten scheinbar das Licht an demselben Orte wie das beobachtende Auge befand. Die Beobachtung war von v. Erlach zufällig an einem Freunde gemacht worden, als er diesen in das Zimmer treten sah[1]).

Hermann v. Helmholtz blieb es dann im Jahre 1850 vorbehalten, alle diese Tatsachen zu vereinigen, die richtige Erklärung für die verschiedenen Beobachtungen zu finden und den Augenhintergrund des Menschen sowie den aller Tiere in seinen Einzelheiten sichtbar zu machen. Die Ueberlegungen, von denen Helmholtz ausging, waren folgende:

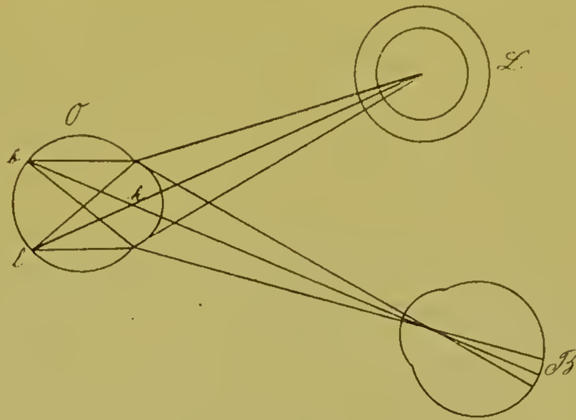
Die Pupille des Auges erscheint für gewöhnlich schwarz. Dies ist aber nicht deswegen der Fall, weil der Augenhintergrund alles einfallende Licht absorbiert, wie man bis dahin geglaubt hatte, sondern weil durch den besonderen optischen Bau des Auges die Strahlen, welche vom Augenhintergrunde kommen, wieder zu der Lichtquelle zurückkehren. Es ist deshalb derjenige Teil, welchen der Beobachter vom Augenhintergrunde sieht, stets nicht erleuchtet, weil ja sein eigener Kopf kein Licht aussendet. Derjenige Teil aber, welcher erleuchtet ist, kann vom Beobachter nicht wahrgenommen werden, denn wenn er sich mit seinem Kopf in die Richtung der aus dem Auge austretenden Lichtstrahlen begibt, schneidet er selbst das zum Auge hingehende Licht ab.

Die Figur 1 wird dies deutlicher veranschaulichen. O stellt das zu untersuchende Auge dar, B das Auge des Beobachters und L eine Lichtquelle. k ist der Knotenpunkt des Auges O. Dann ist b das Bild der Pupille von B und die nächste Umgebung von b ist derjenige Teil, welcher von Auge B überblickt wird. l ist das Bild von der Lichtquelle L und die nächste Umgebung von l ist derjenige Teil, welcher auf dem Hintergrunde von O beleuchtet ist. Man sieht, daß b und l entsprechend weit von einander entfernt sind, wie das Auge B und die Lichtquelle L. Versucht man nun, B und L einander zu nähern, so werden natürlich auf dem Hintergrunde von O auch b und l näher aneinander rücken. Damit sie aber zusammen fallen, ist es nötig, daß L k und B k ebenfalls zusammen fallen. Es müßten also O, L und B in einer Linie stehen. Wollte man dies so herbeiführen, daß B zwischen

1) Siehe Zehender's klin. Monatsblätter f. Augenheilkunde. 1902. S. 241.

O und L fällt, so schneidet der undurchsichtige Kopf des Beobachters den Weg für die Lichtstrahlen ab; liegt dagegen L zwischen O und B, so schneidet das Licht selbst den Weg für die aus dem Auge zurückkehrenden Strahlen ab. Außerdem ist die Lichtquelle so intensiv im Vergleich zu demjenigen Licht, welches vom Augenhintergrunde zurückkommt, daß in diesem Falle die wenigen Strahlen, die etwa noch neben dem Lichte vorbei kommen können, nicht von dem stark geblendeten Beobachter wahrgenommen werden. Um den Augenhintergrund zu sehen, ist es also erforderlich, daß man eine Lichtquelle zwischen B und O anbringt, welche einerseits durchsichtig, andererseits für den Beobachter B unsichtbar ist. Eine solche Lichtquelle existiert aber. Es ist dies das Spiegelbild einer Lichtflamme in einer unbelegten Glasplatte, und so ist der erste Augenspiegel von v. Helmholtz konstruiert worden.

Figur 1.

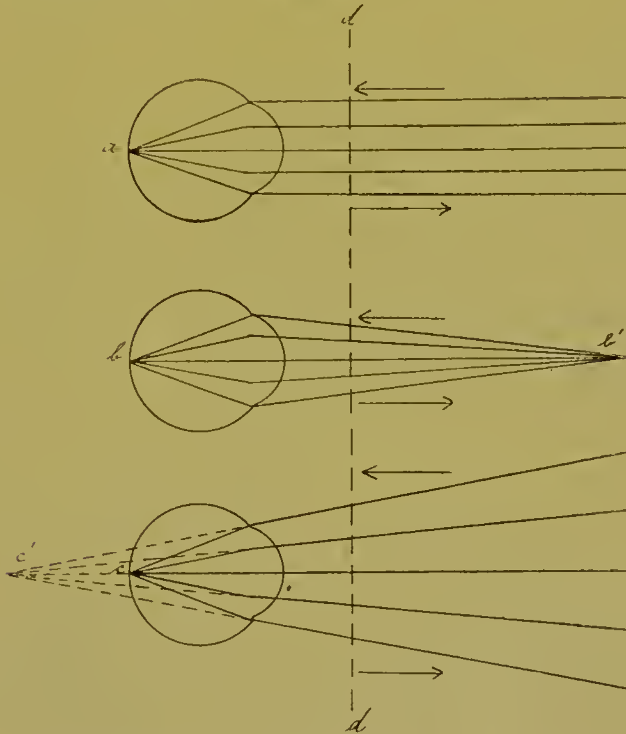


Es genügt aber nicht allein, daß die Beleuchtung die richtige ist, sondern es soll auch ein scharfes Bild der Netzhaut des Beobachteten auf der des Beobachters entstehen. Hierzu mußte man sich den Strahlengang klar machen, der im Auge stattfindet. Den Anhalt hierfür bietet das Gesetz von der Umkehrbarkeit aller optischen Erscheinungen. Das Licht kann nur auf demselben Wege aus dem Auge heraustreten, auf dem es in das Auge hineingelangt. In Figur 2 stellen a b c drei verschiedene Augen dar. a ist ein normales, emmetropisches Auge. Von diesem weiß man, daß sich Parallelstrahlen auf der Netzhaut zu einem scharfen Bilde vereinigen. Es muß also umgekehrt das Licht, wenn es aus dem Auge heraustritt, auch in einem Bündel von Parallelstrahlen verlaufen. Die beiden Pfeile deuten an, daß der Weg für die Strahlen in beiden Richtungen derselbe ist.

b stellt ein myopisches Auge dar, d. h. ein solches, welches im Ruhezustande nicht für unendlich weite Punkte eingestellt ist, sondern einen näher gelegenen Punkt b′ scharf sieht, d. h. also die von b′ ausgehenden Strahlen vereinigen sich zu einem scharfen Bilde auf der Netzhaut b. Umgekehrt werden die Strahlen, welche von b ausgehen, sich auch in b′ zu einem scharfen Bilde vereinigen.

c stellt ein hypermetropisches Auge dar, d. h. ein solches, welches im Ruhezustande für konvergente Strahlen eingestellt ist, also eigentlich einen Punkt c′ scharf sieht, welcher hinter ihm liegt. Es werden also

Figur 2.

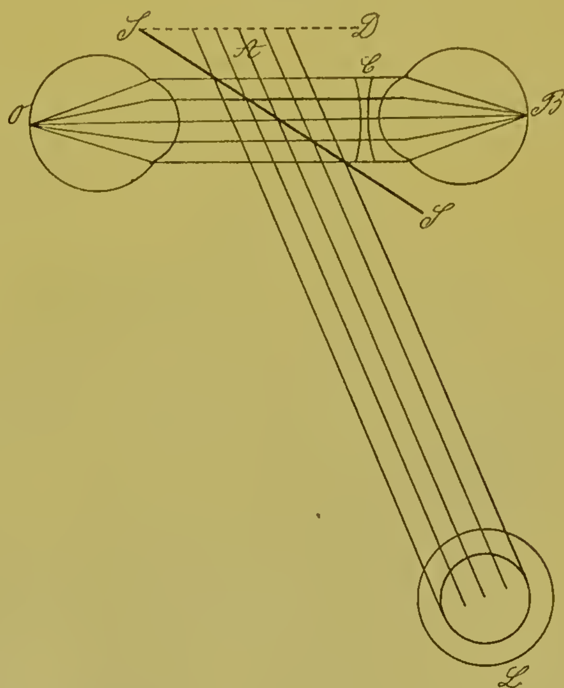


Strahlen, die so konvergieren, als ob sie in dem hinter dem Auge liegenden Punkte c′ ein scharfes Bild erzeugen würden, auf der Netzhaut von c vereinigt, umgekehrt treten die von c kommenden Strahlen so aus dem Auge, als wenn sie von c′ herkämen.

Wie muß man also das eigene Auge einstellen, um in den drei Augen a, b und c den Hintergrund scharf zu erkennen? Bemerkt sei dabei, daß sich das Auge des Beobachters ziemlich dicht am Auge des Beobachteten, jedesmal etwa in der Ebene d d befindet. Bei a muß das Auge des Beobachters für Parallelstrahlen eingestellt werden, d. h. es muß emmetropisch sein und darf nicht akkommodieren, so als wenn es

weit entfernte Gegenstände betrachten wollte. Bei b müßte der Beobachter konvergente Strahlen auf seiner Netzhaut vereinigen. Da hierzu ein normales Auge nicht imstande ist, bedarf er in diesem Falle eines Konkavglases, um die Strahlen parallel zu machen. Bei c muß der Beobachter sich für c' einstellen, d. h. für divergente Strahlen. Dies vermag er ohne weiteres durch seine Akkommodation. Akkommodiert die beobachtete Person, falls ihr Auge normal ist, so geht der Fall a in den Fall b über. Man sieht, dass in den meisten Fällen ein Konkavglas zum Erkennen des Augenhintergrundes notwendig ist, besonders ist dies unerläßlich, sowie der Beobachter selbst myopisch ist. Dies war

Figur 3.



bei v. Helmholtz in geringem Grade der Fall. Der erste Augenspiegel von v. Helmholtz bestand demgemäß aus einer spiegelnden Glasplatte in Verbindung mit einem Konkavglase.

Figur 3 stellt diese erste Anordnung des Augenspiegels dar. O ist wieder das Auge des Beobachteten, B das des Beobachters. Die beiden Augen werden möglichst dicht einander genähert. Mittelst der schräg gestellten unbelegten Spiegelglasplatte S S werden die Strahlen von der Lichtquelle L so auf das Auge O geworfen, als wenn sie von B herkämen. Die von O zurückkehrenden Strahlen treten parallel oder leicht konvergent aus, durchlaufen zunächst die Glasplatte S S und werden

dann durch die Konkavlinse C, durch welche das Auge B hindurchblickt, divergenter gemacht, um von B ohne Mühe auf seiner eigenen Netzhaut vereinigt zu werden. Das Bild ist hierbei ein aufrechtes, da die Linse des Auges O nur als Lupe wirkt.

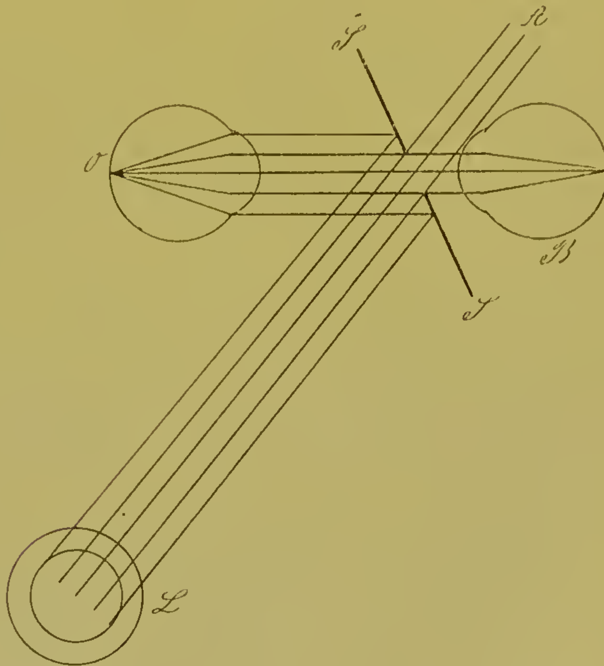
Als ein Nachtheil dieser Anordnung stellte sich sehr bald die mangelnde Helligkeit heraus, da eine solche Spiegelglasplatte nur verhältnismäßig wenig Licht reflektiert. v. Helmholtz berechnete, daß bei gleich bleibender Lichtquelle die günstigste Beleuchtung dann erreicht würde, wenn von der Glasplatte die Hälfte des auf sie fallenden Lichtes reflektiert und auf dem Rückwege von O die Hälfte hindurchgelassen würde. Da bei einer Glasplatte die Reflexion desto stärker ist, je schräger die Strahlen auf sie auffallen, so mußte S S, damit die günstigste Beleuchtung erreicht wurde, sehr schräg gegen die Verbindungslinie der Augen O und B gestellt werden. Leichter ließ sich die günstigste Beleuchtung erreichen, wenn man mehrere Spiegelglasplatten auf einander legte. v. Helmholtz verwandte schließlich drei solcher Platten, die mit der Verbindungslinie der beiden Augen O und B einen Winkel von 34° einschlossen. Die Lichtquelle mußte dann nicht, wie es jetzt allgemein üblich ist, hinter dem Beobachteten, sondern seitlich hinter dem Beobachter stehen. Dadurch entstand der Nachteil, daß das Gesicht des Beobachteten beleuchtet war, falls man nicht besondere Abblendungen an der Lampe anwandte. Außerdem war die Verwendung der großen Glasplatten mit manchen Nachteilen verknüpft. Dieselben mußten sehr gut geschliffen sein, damit keine Verzerrung des Bildes eintrat, außerdem mußten sie häufig gereinigt werden, da eine geringe Ablagerung von Staub, wenn derselbe beleuchtet ist, einen Schleier auf das Bild wirft.

Als ein großer Fortschritt war es daher zu betrachten, als Ruete im Jahre 1852 statt der Spiegelglasplatten durchbohrte Spiegel anwandte. Ruete zeigte damit, daß es zum Zustandekommen der richtigen Beleuchtung nicht notwendig war, daß das Licht genau auf demselben Wege aus dem Auge zurückkehrte, wie es in dasselbe hineingelangt war, sondern daß es auch dicht daneben verlaufen konnte.

Figur 4 zeigt die Anordnung mit dem durchbohrten Spiegel. Die Strahlenbündel, welche von der Lichtquelle L ausgehen, gehen zum Teil nach A hin direkt durch das Spiegelloch hindurch. Dieses Licht ist für die Ophthalmoskopie verloren. Ein solcher verlorener Teil des Lichtes tritt aber bei jeder Anordnung auf. Auch in Figur 3 sehen wir einen Teil des Lichtes direkt durch die Glasplatte hindurch nach A treten. Es ist nur notwendig, darauf zu achten, daß dieses Licht nicht durch diffuse Reflexion wieder zum Beobachter B gelangt und so das Bild ver-

schleiern kann. Bei der Anordnung mit durchbohrten Spiegeln tritt dies nicht ein, da die Hinterwand des Spiegels geschwärzt ist, bei der Helmholtz'schen Anordnung dagegen wurde die Wand des Instrumentes, welche in Figur 3 durch die punktierte Linie S D dargestellt ist, durch diese Strahlen beleuchtet. Auf derselben entstand dadurch ein heller Fleck, welcher sich an der Rückwand des Spiegels S S noch einmal spiegelte, so daß der Beobachter ihn mit dem Bilde von O zusammenfallen sah. v. Helmholtz hatte große Schwierigkeiten, die Wand S D des Instrumentes so zu schwärzen, daß dieser helle Fleck die Beobachtung nicht störte.

Figur 4.



Abgesehen von diesen Strahlen, welche nach A durch das Spiegelloch hindurch treten, werden andere Bündel, welche von der Umgebung der Spiegelöffnung reflektiert werden, auf die Pupille von O geleitet. Das Licht, das von O zurückkommt, geht nun zum Teil wieder auf demselben Wege zur Lichtquelle zurück, zum Teil aber durch das Spiegelloch hindurch in das Auge von B. Man sieht, daß bei dieser Anordnung die günstigste Beleuchtung sehr viel leichter zu erreichen ist. Es ist nur notwendig, die Spiegelöffnung so groß zu wählen, daß sie an Flächeninhalt die Hälfte der Pupille von O bildet. Dann wird die Hälfte des Lichtes reflektiert, die Hälfte hindurchgelassen. Da aber die Pupille von O wechselnde Größe hat und man auch bei enger Pupille beob-

achten will, so wird das Spiegelloch im allgemeinen kleiner gewählt, so daß bei weiter Pupille nicht ganz die günstigste Beleuchtung erreicht wird, indem verhältnismäßig zu viel Licht zum Auge hin und zu wenig von diesem zurück gelangt.

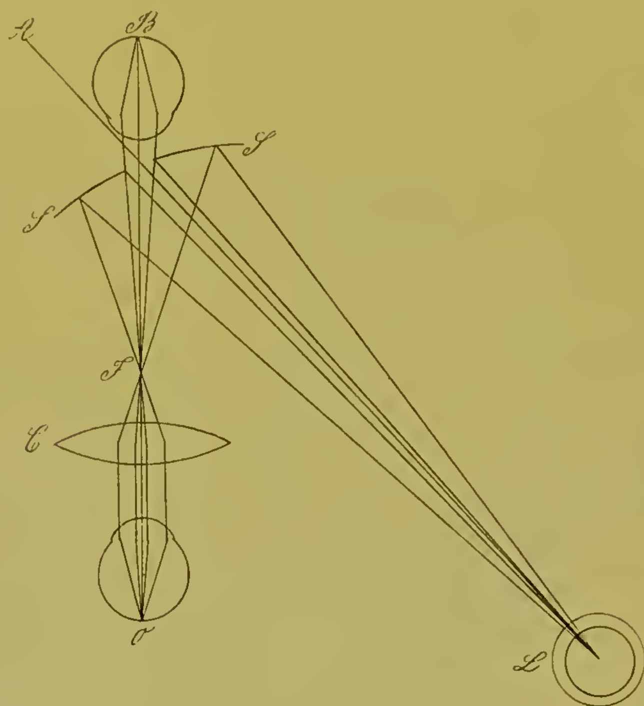
Ein anderer Vorteil dieser Anordnung ergiebt sich daraus, daß der Spiegel S S nahezu senkrecht auf die Verbindungslinie der Augen B und O gestellt werden kann, sodaß die Lichtquelle L ihren Platz hinter dem Beobachteten bekommt. Ferner kann die Oeffnung im Spiegel sich nicht, wie dies bei einer Glasplatte der Fall ist, mit Staub bedecken, daher braucht der durchbohrte Spiegel nicht gereinigt zu werden und giebt stets unverschleierte Bilder. Anfänglich wurden auch vielfach die Spiegel nicht durchbohrt, sondern nur ein Teil der Belegung vom Glase entfernt. Aus dem angegebenen Grunde ist es aber vorteilhafter, eine wirkliche Oeffnung anzubringen.

Eine zweite Modifikation, welche Ruete zu verdanken ist, besteht in der Methode der Untersuchung im umgekehrten Bilde. Helmholtz' Versuchsanordnung benutzte eigentlich zur Beobachtung gar keine optischen Hilfsmittel, denn das Konkavglas diente ja nur zur Korrektion des myopischen Beobachters, und für emmetropische Augen war ein solches Konkavglas nicht notwendig. Ruete gebrauchte als optisches Hilfsmittel eine einfache Konvexlinse, welche zwischen dem Spiegel und dem beobachteten Auge angebracht wurde und welche ein umgekehrtes Bild der Netzhaut entwarf. Trotz vielfacher Aenderungen, die im Laufe der Zeit an der Größe und der Brennweite dieser Konvexlinse vorgenommen wurden, ist das Prinzip doch das gleiche geblieben.

Figur 5 stellt diese Anordnung dar. O ist das Auge des Beobachteten, B das des Beobachters. Vor dem Auge des Beobachters befindet sich der durchbohrte Hohlspiegel SS, welcher leicht schräg gestellt ist, sodaß er die Lichtstrahlen von der Lichtquelle L, welche sich hinter dem Beobachteten befindet, in der Richtung nach dem Auge O zu reflektiert. Bevor es dasselbe erreicht, durchläuft es eine Konvexlinse C von etwa 75 mm Brennweite, welche um etwas mehr, als ihre Brennweite beträgt, von O entfernt ist. Diese Konvexlinse entwirft nun, wenn das Auge O emmetropisch ist, ein scharfes Bild der Netzhaut in ihrer Brennebene in F und auf diese Ebene muß der Beobachter B akkommodieren, also muß die Entfernung zwischen F und B etwa die deutliche Leseweite 25—30 cm betragen. Wir sehen, daß von der Lichtquelle die meisten Strahlen auf den Spiegel SS auftreffen, nur wenige durch die Oeffnung desselben an dem Auge vorbei nach A hinlaufen. Dieses seitliche Licht stört den Beobachter nicht, da es von

der geschwärzten Rückwand des Spiegels nicht mehr reflektiert wird. Vom Spiegel aus konvergieren die Strahlen ebenfalls nach F hin, werden wieder divergent bis C, parallel bis zum Auge O und beleuchten dann die Netzhaut desselben. Das von der Netzhaut von O zurückgeworfene Licht kehrt größtenteils auf demselben Wege zur Lichtquelle zurück, nur das kleine zentral gelegene Bündel durchläuft die Oeffnung im Spiegel und erzeugt im Auge des Beobachters B das eigentliche Bild. Man sieht, daß hierbei nicht die günstigste Beleuchtungsbedingung nach Helmholtz' Forderung erreicht ist, da die Beleuchtungsstrahlen weit

Figur 5.



mehr als die Hälfte betragen. Auf die genaue Berechnung der Helligkeit werden wir später noch zurückkommen, ebenso auf den Grund, weswegen ein Hohlspiegel statt des Planspiegels zur Beleuchtung verwandt werden mußte.

Der Vorteil der Untersuchung im umgekehrten Bilde besteht in Folgendem:

1. Es kann der Beobachter etwa $^1/_2$ m vom Beobachteten entfernt bleiben, während bei der Untersuchung im aufrechten Bilde sich die beiden Personen auf 5 cm nähern müssen.

2. Das Gesichtsfeld ist bei weitem größer, es beträgt etwa 18°,

während es bei der Untersuchung im aufrechten Bilde durchschnittlich nur 6° groß ist.

3. Die Vergrößerung ist eine 3—5 mal so schwache. Während die Vergrößerung im aufrechten Bilde eine 16 fache Linearvergrößerung ist, ist diejenige im umgekehrten Bilde nur eine 5—3 fache. Diese schwächere Vergrößerung ist nun an sich zwar kein Vorteil, aber mit der schwächeren Vergrößerung im Zusammenhange steht, wie in Figur 5 aus dem Strahlenverlauf zu ersehen ist, daß nur ein kleiner Teil der Pupille von O zur Beobachtung benutzt wird. Es wird also diese Anordnung viel unempfindlicher gegen Trübungen der brechenden Medien und Unregelmäßigkeiten in der Krümmung der Hornhaut sein, als wenn ein größerer Teil der Pupille wie im aufrechten Bilde zur Untersuchung dient.

Diese beiden Methoden, die Untersuchung im aufrechten Bilde mittels des durchbohrten Plan- oder Hohlspiegels (Figur 4) und die Untersuchung im umgekehrten Bilde mittels eines durchbohrten Hohlspiegels und einer Konvexlinse (Figur 5) sind diejenigen geworden, welche die meiste Verbreitung gefunden haben. Die erstere dient vermöge der stärkeren Vergrößerung, die sie gibt, zur Untersuchung von feineren Einzelheiten, die letztere, um eine allgemeine Uebersicht über den Augenhintergrund zu gewinnen, wozu sie sich wegen des größeren Gesichtsfeldes und der bequemen Anordnung der einzelnen Teile gut eignet.

Die Versuche, welche eine Abänderung dieser Methoden bezweckten, betrafen den Spiegel oder die Linse. Statt des Hohlspiegels wurde für die Untersuchung im umgekehrten Bild von einigen ein Planspiegel oder ein Konvexspiegel benutzt, auf den durch eine besondere Linse konvergentes Licht gegeben wurde. Obgleich eine derartige Anordnung für manche Zwecke von Vorteil sein kann, kompliziert sie doch durch die Linse, welche zwischen Lichtquelle und Spiegel eingeschoben wird, bedeutend die Handhabung der Instrumente. Was die Konvexlinse betrifft, so sind die verschiedensten Brennweiten angewandt worden, im allgemeinen erwiesen sich als günstig solche von 50—100 mm. Kürzere Brennweiten als 50 mm ergaben ein zu schwach vergrößertes Bild, größere als 100 mm ein zu kleines Gesichtsfeld und einen zu unbequem großen Abstand zwischen Beobachtetem und Beobachter.

Eine andere Reihe von Versuchen war darauf gerichtet, die einzelnen Teile der Anordnung zur Augenspiegeluntersuchung fest in einem Stativ zu vereinigen. Bei anderen optischen Instrumenten, wie z. B. beim Mikroskop und beim Fernrohr, sind die einzelnen Linsen oder Spiegel, die das Licht auf seinem Wege passieren muß, in richtiger

Zentrierung fest in einem Rohre miteinander verbunden, und der Beobachter hat nur sein Auge, das Rohr und das Objekt in eine gerade Linie zu bringen. Beim Mikroskop wird das Objekt und das Auge gegen das feststehende Linsenrohr verschoben, beim Fernrohr das Auge und das bewegliche Rohr gegen das feststehende Objekt. Anders ist dies bei der Untersuchung mittels des Augenspiegels. Hier ist der Beobachter gezwungen, alle die Zentrierungen, die sonst der Optiker ausführt, wenigstens annähernd während der Beobachtung selbst vorzunehmen. Dies macht die Untersuchung zu einer so sehr schwierigen. v. Helmholtz brauchte mittels seines ersten Augenspiegels volle 8 Tage dazu, ehe er zum ersten Male den Sehnerven zu Gesicht bekam. Etwas leichter wurde die Beobachtung durch die Anwendung der durchbohrten Spiegel, jedoch ist sie bekanntlich auch heute noch eine der schwierigsten Untersuchungsmethoden der ganzen Medizin, deren Erlernung allein viele Zeit in Anspruch nimmt und zu deren nutzreicher Anwendung eine dauernde Uebung erforderlich ist.

Untersucht man im aufrechten Bilde, so muß man auf folgende Punkte gleichzeitig achten:

1. Der Spiegel muß so gedreht werden, daß das Licht der Flamme auf die Pupille des Beobachteten reflektiert wird, und zwar muß es von denjenigen Stellen des Spiegels reflektiert werden, welche das Loch desselben unmittelbar umgeben.

2. Der Beobachter muß mit seinem Auge durch dieses Loch nach der Pupille des Beobachteten blicken.

3. Der Beobachter muß seine Akkommodation so weit erschlaffen, daß er auf parallele Strahlen eingestellt ist, resp. durch ein Glas sich dem Refraktionszustand des Beobachteten anpassen.

4. Er muß sich möglichst weit dem Beobachteten annähern, damit das Gesichtsfeld nicht zu klein wird.

5. Dem Beobachteten muß eine Blickrichtung angewiesen werden, die den gesuchten Teil des Augenhintergrundes in die Blickrichtung des Beobachters bringt, oder aber dieser Letztere muß sich unter Berücksichtigung der eben angeführten 4 Punkte so drehen, daß seine Gesichtslinie in den gesuchten Bezirk hineinfällt.

Wird durch die gleichzeitige Erfüllung aller dieser Bedingungen schon die Untersuchung im aufrechten Bilde zu einer sehr schwierigen, so ist dies noch in erhöhtem Maße bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde der Fall. Hier ist es zwar leichter, auf das Bild richtig zu akkommodieren, weil es sich ungefähr in der gewöhnlichen Leseweite befindet, dagegen wird durch das Zwischenschalten der Konvexlinse die Zahl der

gleichzeitig zu erfüllenden Bedingungen eine noch größere. Dieselben sind folgende:

1. der Spiegel muß so gedreht werden, daß die Beleuchtungsstrahlen auf das Auge des Beobachteten reflektiert werden;

2. der Beobachter muß durch die Oeffnung des Spiegels nach dem Auge des Beobachteten hinblicken;

3. die Konvexlinse muß mit ihrer Mitte genau in die Verbindungslinie zwischen Spiegelöffnung und Auge des Beobachteten gebracht werden;

4. die Entfernung der Konvexlinse von den beiden Augen muß annähernd so reguliert werden, daß die Pupille des Beobachteten sich auf der Spiegelöffnung abbildet;

5. Die Konvexlinse muß mit ihrer optischen Achse so gegen die Visierlinie gedreht werden, daß die Reflexe in ihr nicht den gesuchten Teil des Bildes überdecken, andererseits darf sie nicht so stark gedreht werden, daß eine bedeutendere Verzerrung des Bildes eintritt;

6. der Beobachtete muß eine bestimmte Blickrichtung innehalten, damit der gesuchte Teil des Augenhintergrundes sichtbar wird, resp. muß der Beobachter sich so drehen, daß seine Visierlinie in diese Richtung fällt.

Es ist also leicht begreiflich, daß man schon bald nach Erfindung des Augenspiegels versucht hat, die Beobachtung dadurch zu erleichtern, daß man die einzelnen Teile fest in einem Stativ anbrachte. So war die Anordnung von Ruete, der Gebrauch des durchbohrten Spiegels und der Konvexlinse zur Untersuchung im umgekehrten Bilde ursprünglich als Stativ-Apparat gedacht worden. Später sind noch mehrfach derartige stabile Instrumente konstruiert worden, am bekanntesten und am meisten verbreitet ist wohl der große Liebreich'sche Augenspiegel, welcher im wesentlichen der Untersuchung im umgekehrten Bilde entspricht.

Alle diese Instrumente haben jedoch in der Praxis keinen großen Eingang gefunden, bei weitem häufiger ist die Untersuchung mit den Instrumenten in freier Hand ausgeführt worden. Fragt man nach dem Grunde, so ist die hauptsächlichste Ursache in dem Auftreten der Reflexe zu suchen, welche jede stabile Anordnung außerordentlich stören. Da das Licht auf demselben Wege zu dem Auge des Beobachteten hingelangen muß, auf dem es wieder aus dem Auge zurückkehrt, so treten bei dem Durchgang durch die Konvexlinse, ferner an der Hornhaut und der Linse des beobachteten Auges Spiegelbilder auf, welche der Beobachter ebenfalls wahrnimmt. Diese Spiegelbilder, welche im Vergleich zu dem geringen Lichte, welches der Augenhintergrund zurückwirft, sehr intensiv sind, werden durch die dauernde geschickte

Drehung der Instrumente, die man in der freien Hand hält, an solche Stellen gebracht, die man gerade nicht beobachten will. Ferner sind diese Reflexe verhältnismäßig klein, so lange man sich darauf beschränkt, auch nur einen verhältnismäßig kleinen Teil des Augenhintergrundes zu betrachten, sobald man aber den Augenhintergrund ausgiebiger zu beleuchten versucht, vergrößern sich in demselben Maße die Reflexe mit und werden endlich so groß, daß sie das ganze eigentliche Bild vollständig überdecken. Auch die Verwendung mehrerer Linsen hintereinander, eines optischen Systems, wie sie zur Erzielung eines größeren Gesichtsfeldes und einer stärkeren Vergrößerung erforderlich gewesen wäre, verbot sich durch die entsprechende Verstärkung der Reflexe durch mehrere Linsen. Ließ sich also durch die Anwendung solcher stabiler Instrumente schon kein Vorteil für das Bild selbst erreichen, so hatte man dagegen noch den Nachteil, daß durch die Befestigung der einzelnen Teile die Reflexe häufig den gesuchten Teil überdeckten, ohne daß man sie an eine unschädliche Stelle bringen konnte. Es war daher für die Konstruktion eines stabilen Augenspiegels zuerst die Beseitigung der Reflexe anzustreben, und diese Aufgabe soll uns im nächsten Kapitel beschäftigen.

II. Die Beseitigung der Reflexe.

Schon von Helmholtz hatte den Hornhautreflex bei der Konstruktion seines ersten Augenspiegels als störend empfunden; er macht darauf aufmerksam, daß durch die Polarisation des Lichtes dieser Reflex mit Hilfe der Glasplatten abgeschwächt werde. Denn da der Einfallswinkel bei seiner Anordnung 56 ° betrug, so wurde das Licht der Lampenflamme linear polarisiert und als solches linear polarisiertes Licht von der Hornhaut zurückgeworfen; von der Netzhaut dagegen wurde das Licht wieder depolarisiert. Da nun durch die Glasplatten dasjenige Licht, welches in derselben Richtung, wie die an ihrer Oberfläche reflektierten Strahlen polarisiert ist, viel schlechter hindurchgelassen wird, so wurde der Hornhautreflex vermindert, während das durch die diffuse Reflexion am Hintergrund depolarisierte Licht weniger an seiner Intensität verlor. Dieser Vorteil fällt bei der Untersuchung mittels des durchbohrten Spiegels wieder fort, er war auch nicht von großem Werte gewesen, da der Hornhautreflex nicht vollkommen ausgelöscht wurde. Eine

andere Methode, welche häufiger zu demselben Zweck angewendet wurde, kann man als Immersionsmethode bezeichnen.

Die Immersionsmethode.

Diese bestand darin, die Spiegelung an der Hornhaut so auszuschalten, daß man das Auge mit einer physiologischen Kochsalzlösung umgab, die gegen die Luft hin durch eine ebene Glasplatte abgegrenzt wurde. Da der Brechungsexponent der Hornhaut fast gleich dem des Wassers ist, so findet dann keine Reflexion an der vorderen Hornhautfläche mehr statt, sondern dafür an der ebenen Glasplatte, welche die Kochsalzlösung nach vorn abschloß. Eine solche Glasplatte braucht nur um einen kleinen Winkel gedreht zu werden, um den Reflex aus dem Gesichtsfelde verschwinden zu lassen. Der erste, der dieses Prinzip anwandte, war Coccius im Jahre 1852. Derselbe legte eine Glasplatte dicht an die Hornhaut an und brachte zwischen Glasplatte und Auge etwas Wasser, das sich durch seine Adhäsion hielt. Später ist dasselbe Prinzip noch häufiger verwandt worden, so von Bellarminoff und Eugen Fick, ferner hat Gerloff im Jahre 1891 nach dem Prinzip von Czermaks Orthoskop das Auge mit einer mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Kammer umgeben, welche sich dicht an den äußeren Augenhöhlenrand anlegte. Er hatte auf diese Weise die erste Photographie des menschlichen Augenhintergrundes erzielt, worauf ich später noch eingehen werde. Ueber diese Immersionsmethode habe ich keine weiteren Versuche angestellt, weil sie mir von vornherein zu umständlich erschienen ist, um allgemeinere Anwendung zu finden; ferner muß man bedenken, daß ja die Reflexe an der Linse des menschlichen Auges durch diese Methode nicht beseitigt werden und daß die Vorderfläche der ebenen Glasplatte, auch wenn ihre Reflexionsrichtung eine solche ist, daß der direkte Reflex nicht in das Auge des Beobachters gelangt, dennoch bei intensiver ausgiebiger Beleuchtung leicht diffus reflektieren muß und so einen Schleier auf das Bild wirft.

Die Polarisationsmethode.

Ueber diese Methode, welche, wie ich schon oben erwähnte, der ersten Helmholtz'schen Anordnung zu Grunde lag, habe ich viele Versuche angestellt[1]). Dieselben ergaben, daß sich in der Tat der Reflex

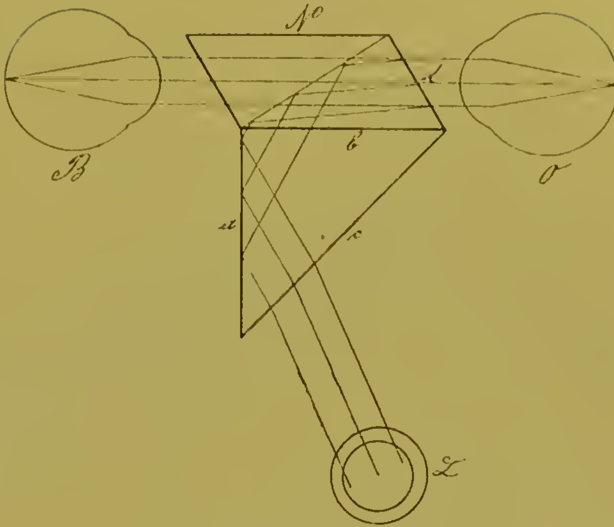
---

1) Vergl.: Ein neuer stabiler Augenspiegel mit reflexlosem Bilde. Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane. Bd. XX. S. 294–316.

damit vollständig beseitigen läßt. Wenn man den Hornhautreflex selbst durch ein Nicol'sches Prisma betrachtet, so zeigt sich, daß immer nur einzelne Teile vollständig ausgelöscht werden, und zwar diejenigen, welche gerade in dem für die Hornhaut geltenden Polarisationswinkel reflektiert werden. Die Hauptfläche des Reflexes bleibt jedoch unbeeinflußt. Es ist also notwendig, schon linearpolarisiertes Licht zur Beleuchtung des Auges zu verwenden und dieses durch irgend eine als Analysator dienende Vorrichtung, soweit es von der Hornhaut reflektiert wird, zum Verlöschen zu bringen. Zunächst habe ich genau nach der Helmholtz'schen Anordnung eine Glasplatte, auf die die Strahlen in einem Einfallswinkel von 55° fielen, als Polarisator benutzt, es zeigte sich aber, daß dann nur der Hornhautreflex sehr unvollkommen zum Verlöschen gebracht werden kann. Denn nur dasjenige Licht, welches in einem ganz bestimmten Winkel auf die Glasplatte auftrifft, wird von ihr linear polarisiert. Will man aber eine größere Fläche des Augenhintergrundes beleuchten — und zu diesem Zweck soll doch nur die Methode angewandt werden — so muß das Licht aus sehr verschiedenen Richtungen auf die Glasplatte auftreffen. Dadurch findet praktisch nur eine geringfügige Polarisation statt.

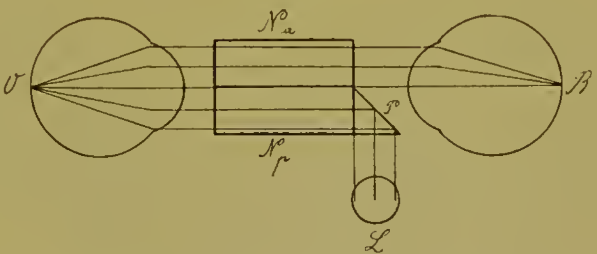
Schon bessere Resultate werden erzielt, wenn man als Polarisator ein Nicol'sches Prisma verwendet, als Analysator wird dann am besten ebenfalls ein Nicol'sches Prisma gebraucht, dessen Polarisationsebene zu dem des polarisierenden Nicols senkrecht gestellt werden muß. Als einfachste Anordnung kann nun diejenige gelten, bei der nur ein Nicol'sches Prisma sowohl als Polarisator wie als Analysator dient und zwar wird das Licht auf dem Wege des außerordentlichen Strahles zur Beobachtung, dasjenige auf dem Wege des ordentlichen Strahles zur Beleuchtung benutzt. Die Versuchsanordnung war die, daß ich an die glatt polierte Seitenwand des Nicols ein rechtwinkliges Prisma so ankittete, daß seine eine Kathete der Wand des Nicols anlag und die Hypotenuse für den Lichteintritt diente, während die zweite Kathete mit einem Silberbelag versehen wurde. Figur 6 zeigt den Strahlengang für diesen Versuch. B ist das Auge des Beobachters, O das des Beobachteten. Die Strahlen gehen nun zunächst von der Lichtquelle L etwa senkrecht auf die Hypotenusenfläche c des rechtwinkligen Prismas a b c, sie werden an der Kathete a reflektiert, treten durch die Kathete b in das Nicol N ein und laufen dann auf dem Wege des ordentlichen Strahles auf die Diagonale des Nicols, werden hier total reflektiert, verlassen dasselbe an der Fläche d und beleuchten das Auge O des Untersuchten. Im Auge O wird nun das Licht sowohl von der

Figur 6.



Hornhaut wie vom Hintergrund zurückgeworfen. Dasjenige, welches von der Hornhaut zurückkommt, ist in derselben Richtung polarisiert, wie es zur Hornhaut hingegangen ist, und muß folglich auf demselben Wege des ordentlichen Strahls zur Lichtquelle zurückkehren. Dasjenige, welches vom Hintergrunde kommt und depolarisiert ist, wird sich in zwei Teile zerlegen, deren Schwingungsrichtungen aufeinander senkrecht stehen, der eine wird ebenfalls auf dem Wege des ordentlichen Strahls zur Lichtquelle zurückkehren, der andere aber wird auf dem Wege des außerordentlichen Strahls zum Beobachter B hingelangen.

Figur 7.

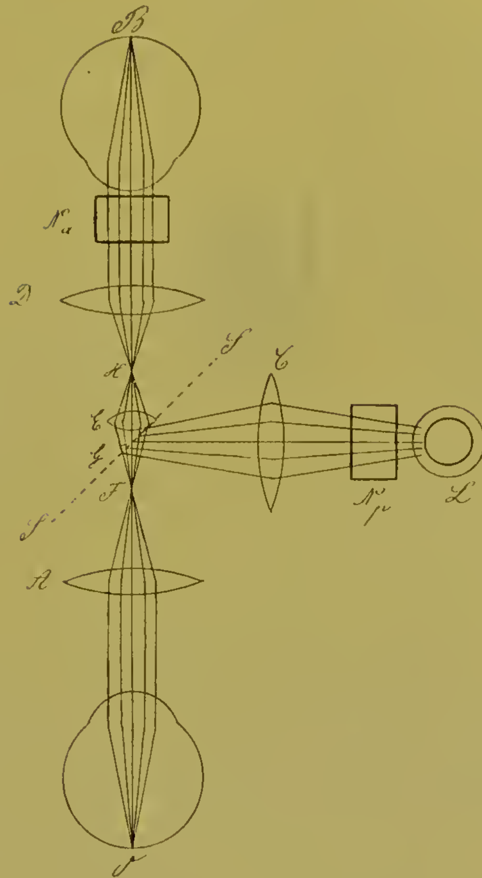


Mit dieser Vorrichtung wird in der Tat der Hornhautreflex ausgelöscht, dafür aber treten an den Wänden des Nicols viele diffuse Reflexe auf, welche ihrerseits wieder das Bild schädigen und verschleiern. Bessere Resultate erzielte ich, wenn ich als Analysator und als Polarisator zwei verschiedene Nicol'sche Prismen anwandte. Eine solche Anordnung zeigt die Figur 7. O ist wieder das Auge des Untersuchten, B das des Beobachters. Zu beiden Seiten der Verbindungslinie der beiden Augen befinden sich die mit der einen Fläche dicht nebeneinander

gelegten Nicol'schen Prismen N a und N p. An N p ist nach der Seite von B zu ein kleines totalreflektierendes Prisma P angekittet, welches das Licht von einer kleinen elektrischen Glühlampe L durch N p auf das Auge O leitet. Nach demselben Prinzip wie bei der Anordnung Figur 6 wird das von der Hornhaut reflektierte Licht, soweit es in das Nicol Na eintritt, ausgelöscht, während der nach N p reflektierte Teil ungehindert wieder zur Lichtquelle zurückkehrt. Das vom Hintergrunde von O zurückgeworfene Licht durchläuft dagegen gleichmäßig beide Nicols, und der durch Na tretende Teil wird vom Beobachter B wahrgenommen. Der Hornhautreflex ist schon dadurch verringert, daß die eine Hälfte der Pupille von O im wesentlichen zur Beleuchtung, die andere zur Beobachtung dient, aber er ist dadurch, wie wir später sehen werden, noch nicht beseitigt. Dies wird erst durch die Anordnung der Nicol'schen Prismen erreicht. Obgleich auf diese Weise ein vollständiges Verschwinden des Hornhautreflexes ohne die diffuse Reflexion an den Wänden, wie dies bei der vorigen Anordnung stattfand, zustande kommt, wird dennoch das Gesichtsfeld zu sehr durch die röhrenförmige Gestalt der Nicol'schen Prismen verengt, sodass gegenüber der gewöhnlichen Beobachtung kein nennenswerter Vorteil besteht.

Verhältnismäßig am besten läßt sich das Prinzip der beiden Nicols verwenden, wenn man etwa eine Linsenanordnung wählt, wie sie in der Figur 8 dargestellt ist. O stellt wieder das Auge des Untersuchten, B das des Beobachters dar, A, C und D sind drei Bikonvexlinsen von gleicher Brennweite. In der Mitte zwischen A und D befindet sich ein Planspiegel S S, dessen Belegung gitterförmig durchbrochen ist, sodass Streifen von 2 mm Breite von der Belegung stehen geblieben sind und ebenso breite Streifen dazwischen fehlen. In der Vorderansicht ist dieser Spiegel in Figur 9 abgebildet. Einen solchen Spiegel hatte ich, wie ich hier beiläufig bemerken will, zu früheren Versuchen über die Photographie des Augenhintergrundes verwandt. Derselbe läßt sich auch gut für die Untersuchung im aufrechten Bilde verwerten, weil er an jeder Stelle die von Helmholtz gestellte Bedingung, daß die Hälfte zur Beleuchtung, die Hälfte zur Beobachtung dienen soll, erfüllt. Auf diesen Gitterspiegel wurde das Licht durch die Konvexlinie C von der Lichtquelle L geworfen und von hier nach O reflektiert, vor L befand sich das eine Nicol N p, das das Licht beispielsweise vertikal polarisierte. Durch den Spiegel wird nun eine solche Linearpolarisation zwar in eine elliptische verwandelt, die Ellipsen nähern sich aber hierbei noch so sehr den Linien, daß praktisch eine Auslöschung des Reflexes gelingt. Das von O zurückkehrende depolarisierte Licht wurde zunächst durch die

Figur 8.



Konvexlinse A konvergent gemacht und lief nach der Vereinigung in ihrem Brennpunkte F wieder divergent bis E. Die Entfernungen der Linsen A, C und D waren so gewählt, daß die Spiegelmitte G von jeder derselben um 2 ihrer Brennweiten entfernt war, ebenso auf der anderen Seite die Pupillen der Augen O und B, sowie die Lichtquelle L. Dadurch entstand ein Bild sowohl der Lichtquelle wie der beiden Pupillen auf dem Spiegel. Eine Konvexlinse E, welche eine annähernd doppelt so starke Brennweite wie A, C und D hatte, machte die Strahlen wieder konvergent bis zum Vereinigungspunkte H, von hier wurden sie divergent bis zur Linse D und traten als Parallelstrahlen in das Auge B des Beobachters ein. Vor diesem befand sich das analysierende Nicol N a. Das depolarisierte Licht, das vom Hintergrunde von O kam, teilte sich nun auf dem Spiegel S S in zwei Hälften, die eine ging zur Lichtquelle L zurück, die andere zum Beobachter B. Diese letztere war vermischt mit dem vertikal polarisierten Hornhautreflex. Letzterer wurde von N a aufgehalten, während das erstere Licht wieder horizontal polarisiert wurde. Mit dieser Vorrichtung werden ganz gute reflexfreie Bilder

erzielt; daß ich sie jedoch nicht als Grundlage für die Konstruktion eines stabilen Apparates angewandt habe, hat seine Ursache darin, daß die Nicol'schen Prismen immer einen grossen Anteil des Lichtes absorbieren, was bei dem geringen Lichte, das der Augenhintergrund über-

Figur 9.

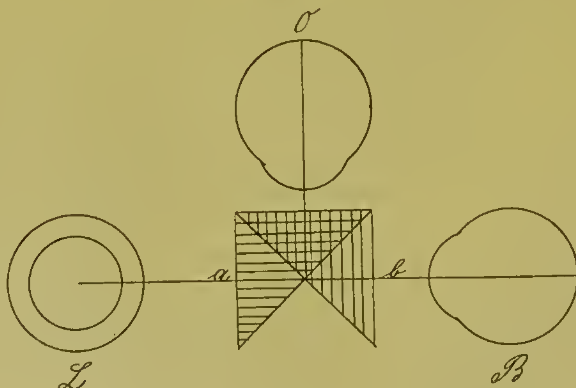


haupt zurückwirft, sehr in Betracht kommt, besonders auch für photographische Zwecke. Andererseits aber ist die folgende Methode so sehr viel einfacher, daß dagegen die Anwendung der Polarisation als sehr umständlich erscheint.

Die geometrische Methode.

Dieser Methode liegt der Gedanke zugrunde, den Lichtstrahlen, welche von der Hornhaut reflektiert werden, einen anderen Weg zu geben als denjenigen Strahlen, welche vom Augenhintergrunde kommen, ohne daß die Qualität der Strahlen dabei geändert wird. Da es sich hier nur um die räumliche Anordnung der Teile handelt, so erscheint mir

Figur 10.



die Bezeichnung „geometrische Methode“ zur Charakterisierung derselben am geeignetsten. Versuche in dieser Richtung wurden ebenfalls frühzeitig unternommen. Der Erste, welcher dies tat, war wohl Ulrich im Jahre 1853. Derselbe brachte zwei total reflektierende Prismen (Figur 10) so vor dem Auge des Untersuchten O an, daß das eine, a,

vor der unteren, das andere, b, vor der oberen Pupillenhälfte stand. Durch a wurde das Licht von einer seitlich stehenden Lichtquelle L auf das Auge O geleitet, durch b wurde von einem seitlich befindlichen beobachtenden Auge B das Bild des Hintergrundes von O durch dessen obere Pupillenhälfte betrachtet. In der Figur ist a horizontal, b vertikal gestrichelt. Eine ähnliche Vorrichtung wurde von Bagnéris in Nancy zur Photographie anzuwenden gesucht. Er beleuchtete das Auge in der Weise, daß er ein total reflektierendes Prisma so vor der Pupille des Untersuchten anbrachte, daß es nur die Hälfte derselben beleuchtete. Das aus der anderen Hälfte austretende Licht sollte dadurch frei von Reflexen sein und dementsprechend zur Beobachtung resp. zur Photographie benutzt werden.

Würde nun wirklich durch dieses Mittel eine Beseitigung der Reflexe erzielt, so wäre dasselbe sicherlich allgemein angewendet worden, tatsächlich aber werden die Reflexe so gut wie gar nicht beseitigt. Um dies zu beweisen, muß ich etwas weiter ausholen und zunächst auf die Frage eingehen, wie denn überhaupt das Auge in allen Augenspiegelanordnungen, mögen dieselben sein, wie sie wollen, beleuchtet wird.

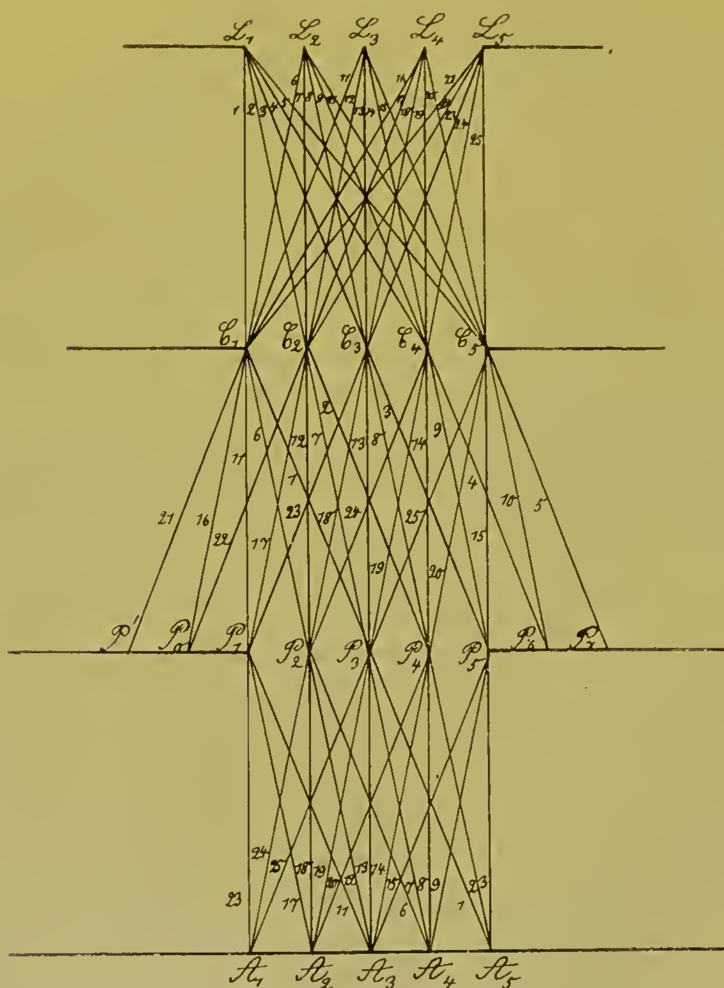
Die Beleuchtung des Auges soll durch die Figuren 11—22 veranschaulicht werden. Figur 11 stellt schematisch den Strahlengang für ein emmetropisches Auge dar, das von Parallelstrahlen getroffen wird. Die Lichtquelle, welche in den folgenden Figuren stets als Fläche gedacht ist, wird durch L_1—L_5 dargestellt. Punktförmige Lichtquellen existieren in Wirklichkeit nicht, und man erhält die richtigen Resultate für die Beleuchtung nur dann, wenn man alle Punkte der Lichtquelle in Betracht zieht. C_1—C_5 stellt eine Konvexlinse dar, in deren Brennebene sich die Lichtquelle befindet. Um den Strahlengang bequem konstruieren zu können, werde das System Lichtquelle + Konvexlinse dem Auge so weit genähert, daß die Konvexlinse in der vorderen Brennebene des Auges liegt. P_1—P_5 stellt die Pupille des Auges dar, A_1—A_5 den Hintergrund desselben.

Es sollen von den unendlich vielen Punkten der Lichtquelle nur 5 gesondert betrachtet werden, die mit L_1, L_2, L_3, L_4 und L_5 bezeichnet sind. Von den unendlich vielen Strahlen, die jeder dieser 5 Punkte in der Zeichnungsebene nach der Konvexlinse C_1—C_5 sendet, sollen immer nur die 5 Strahlen gezeichnet werden, welche nach den in gleichen Abständen liegenden Punkten der Konvexlinse C_1, C_2, C_3, C_4 und C_5 ziehen. Dann ergeben sich im ganzen $5 \times 5 = 25$ Strahlen, deren Verlauf zu betrachten ist. Die übrigen Strahlen, welche zwischen den gezeichneten liegen, nehmen natürlich auch zwischen ihnen den weiteren

Verlauf. Die Strahlen sind mit den Zahlen 1—25 numeriert, jede Zahl steht links neben dem Strahl, für welchen sie gilt. Es sendet nun jeder der Punkte L_1, L_2, L_3, L_4 und L_5 einen divergenten Strahlenkegel auf die Konvexlinse $C_1 - C_5$, und zwar:

L_1	die	Strahlen	1,	2,	3,	4,	5,
L_2	"	"	6,	7,	8,	9,	10,
L_3	"	"	11,	12,	13,	14,	15,
L_4	"	"	16,	17,	18,	19,	20,
L_5	"	"	21,	22,	23,	24,	25.

Figur 11.



Von der Linse C_1—C_5 werden diese divergenten Kegel in Bündel paralleler Strahlen umgewandelt. Einer derselben, welcher durch den Knotenpunkt C_3 läuft, geht ungebrochen weiter, die anderen Strahlen desselben Bündels laufen diesem ungebrochenen Strahl parallel. Auf

diese Weise findet man den weiteren Verlauf bis zur Pupillenebene. Man sieht, daß nur das von L_3 ausgegangene Bündel 11, 12, 13, 14, 15 durch die Pupille vollständig eintritt, nämlich für den in der Figur gezeichneten Fall, daß die Konvexlinse C ebenso groß wie die Pupille P ist. Die ganzen Betrachtungen ändern sich natürlich dadurch nicht, wenn die Konvexlinse, wie dies gewöhnlich der Fall ist, größer wie die Pupille wird, man kann sich einfach die Strecke C_1—C_5 bedeutend nach beiden Seiten verlängert denken. Die auf diese Teile auffallenden Strahlen tragen aber nicht zur Beleuchtung derjenigen Strecke auf dem Hintergrunde bei, welche hier in Betracht gezogen ist. Die von L_1, L_2, L_4 und L_5 kommenden Bündel fallen zum Teil durch die Pupille, zum Teil neben dieselbe nach den Punkten P_0, P', P_6 und P_7. Es sind dies die Strahlen 21, 16, 22, 4, 10, 5. Die weitere Konstruktion geschieht so, daß die durch den Knotenpunkt des Auges P_3 laufenden Strahlen ungebrochen hindurchgehen, während die ihnen parallel laufenden auf demselben Punkte des Augenhintergrundes vereinigt werden. Sieht man nun zu, welche Strahlen die einzelnen Punkte des Augenhintergrundes beleuchten, so treffen:

den	Punkt	A_1	die	Strahlen	23, 24, 25,
„	„	A_2	„	„	17, 18, 19, 20,
„	„	A_3	„	„	11, 12, 13, 14, 15,
„	„	A_4	„	„	6, 7, 8, 9,
„	„	A_5	„	„	1, 2, 3.

Man sieht, daß:

A_1	von solchen Strahlen getroffen wird, die zwischen den Ebenen C und P einander parallel laufen und von	L_5	herkommen,
A_2	do.	L_4	„
A_3	do.	L_3	„
A_4	do.	L_2	„
A_5	do.	L_1	„

Das Auge wird in diesem Falle tatsächlich von Bündeln paralleler Strahlen beleuchtet, wie dies auch von vornherein zu erwarten war.

Wir kommen nun zu dem in Figur 12 dargestellten Fall. Es sei angenommen, daß die Lichtquelle selbst im vorderen Brennpunkt des Auges sich befindet, so daß stark divergentes Licht auf das Auge fällt. Die Bezeichnung der von den Punkten der Lichtquelle ausgehenden Strahlen ist hier wie in allen folgenden Figuren dieselbe. Man sieht, daß von jedem Punkte der Lichtquelle ein divergenter Strahlenkegel auf die Pupille P_1—P_5 auffällt. Den Verlauf der Strahlen im Auge findet

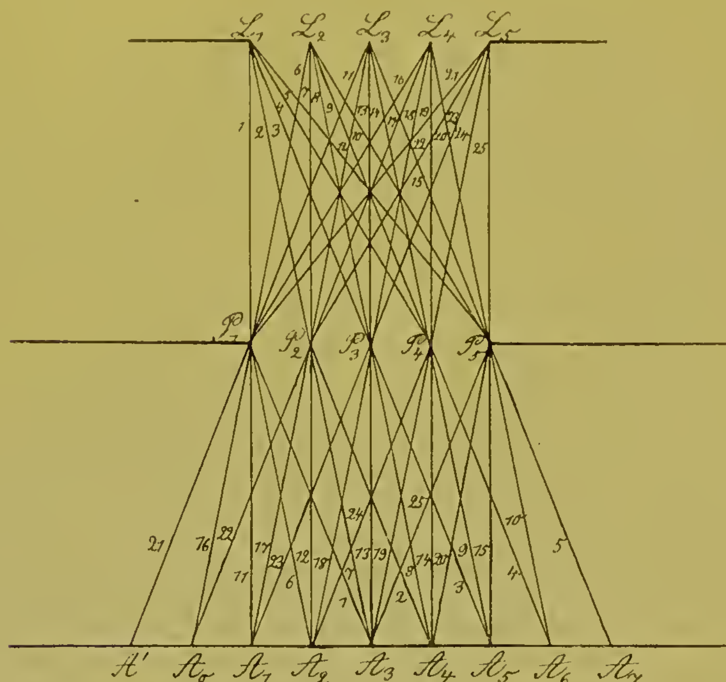
man so, daß die durch P_3 gehenden Strahlen ungebrochen in das Auge eintreten, während die anderen Strahlen desselben Lichtkegels diesem ungebrochenen Strahle parallel laufen, da ja die Lichtquelle in der vorderen Brennebene des Auges stehen soll. Es beleuchtet also:

der Punkt L_1 mittels der 5 Strahlen 1, 2, 3, 4, 5 im Hintergrunde die Punkte A_3, A_4, A_5, A_6, A_7,

der Punkt L_2 mittels der 5 Strahlen 6, 7, 8, 9, 10 im Hintergrunde die Punkte A_2, A_3, A_4, A_5, A_6,

der Punkt L_3 mittels der 5 Strahlen 11, 12, 13, 14, 15 im Hintergrunde die Punkte A_1, A_2, A_3, A_4, A_5,

Figur 12.



der Punkt L_4 mittels der 5 Strahlen 16, 17, 18, 19, 20 im Hintergrunde die Punkte A_0, A_1, A_2, A_3, A_4,

der Punkt L_5 mittels der 5 Strahlen 21, 22, 23, 24, 25 im Hintergrunde die Punkte A', A_0, A_1, A_2, A_3.

Betrachten wir nun die Strahlen, welche jeden einzelnen Punkt des Hintergrundes erreichen, so treffen auf:

A'	die	Strahlen	21,
A_0	"	"	16, 22,
A_1	"	"	11, 17, 23,
A_2	"	"	6, 12, 18, 24,

A_3	die	Strahlen	1, 7, 13, 19, 25,
A_4	„	„	2, 8, 14, 20,
A_5	„	„	3, 9, 15,
A_6	„	„	4, 10,
A_7	„	„	5.

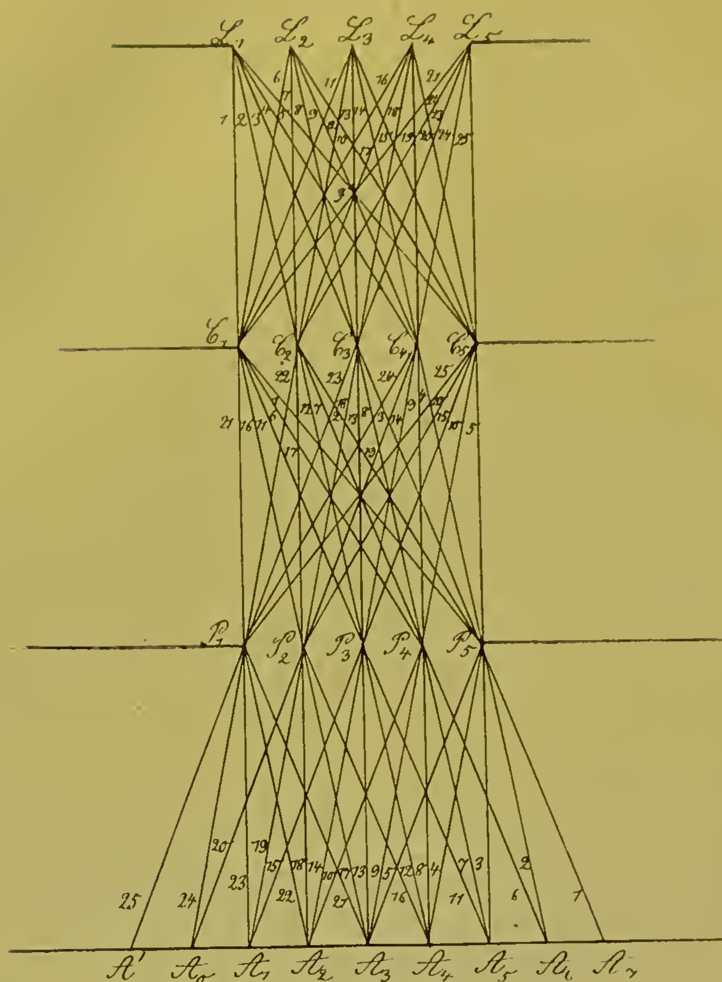
Welche Strahlen beleuchten also A_3? Es sind dies die parallel auf das Auge auftreffenden Strahlen 1, 7, 13, 19, 25. Es ist also genau so, wie in dem Fall Figur 11, nur daß jetzt die parallelen Strahlen nicht von einem Punkte der Lichtquelle, sondern von verschiedenen Punkten derselben herrühren. Der physikalische Unterschied besteht nur darin, daß die A_3 beleuchtenden parallelen Strahlen in Figur 12 nicht interferenzfähig sind, während sie es in Figur 11 sind. Dies kommt aber für den vorliegenden Fall gar nicht in Betracht. Dasselbe wie für A_3 gilt auch für die anderen Punkte des Hintergrundes. Jeder einzelne wird von solchen Strahlen erleuchtet, welche auf die Pupille als parallele Strahlen auftreffen, wie man aus der Figur leicht ersehen kann.

Wenn wir also auch auf das emmetropische Auge stark divergentes Licht senden, so wird in Wahrheit jeder Punkt des Hintergrundes doch von parallelen Strahlen erleuchtet. Was für die stark angenäherte Lichtquelle L gilt, gilt natürlich ebenso, wenn die Divergenz der Strahlen eine geringere wird, wenn also die Lichtquelle weiter von dem Auge entfernt ist. Es wurde dieser Spezialfall nur deshalb gewählt, weil die Konstruktion der im Auge verlaufenden Strahlen hier eine besonders einfache ist.

Wir haben nun zu untersuchen, was geschieht, wenn das emmetropische Auge von konvergenten Strahlen getroffen wird. Dieser Fall ist in Figur 13 dargestellt. L_1—L_5 stellt wieder die Lichtquelle dar, C_1 bis C_5 eine Konvexlinse, deren Brennweite so gewählt sein soll, daß sie die Hälfte der Entfernung zwischen C und L beträgt. Diese Konvexlinse soll ferner in der Mitte zwischen L und der Pupille P stehen, so daß also von L ein Bild in natürlicher Größe auf P entworfen wird. Der stark divergente Kegel, der z. B. von L_1 auf die Konvexlinse C_1 bis C_5 auftrifft, wird in einen stark konvergenten Kegel verwandelt, dessen Spitze in der Pupille in P_5 liegt. C_1—C_5 soll sich wieder im vorderen Brennpunkte des Auges befinden. Die Konstruktion des Strahlenverlaufs hat hier so zu geschehen, daß zunächst:

alle Strahlen, die von L_1 kommen, sich in P_5 vereinigen,
„ „ „ „ L_2 „ „ „ P_4 „
„ „ „ „ L_3 „ „ „ P_3 „

Figur 13.



alle Strahlen, die von L_4 kommen, sich in P_2 vereinigen,

" " " " L_5 " " " P_1 "

Im Auge selbst findet dann die weitere Konstruktion so statt, daß jeder durch P_3 laufende Strahl ungebrochen weiter geht, die anderen Strahlen so betrachtet werden, als wenn C_1, C_2, C_3, C_4 und C_5 die Objektpunkte wären, sie müssen also im Auge immer dem ungebrochenen Strahl, der von demselben Punkte der Konvexlinse ausgeht, parallel laufen. So wird z. B. der Strahl 1, welcher von C_1 herkommt, im Auge parallel dem ungebrochenen Strahl 11 gezogen.

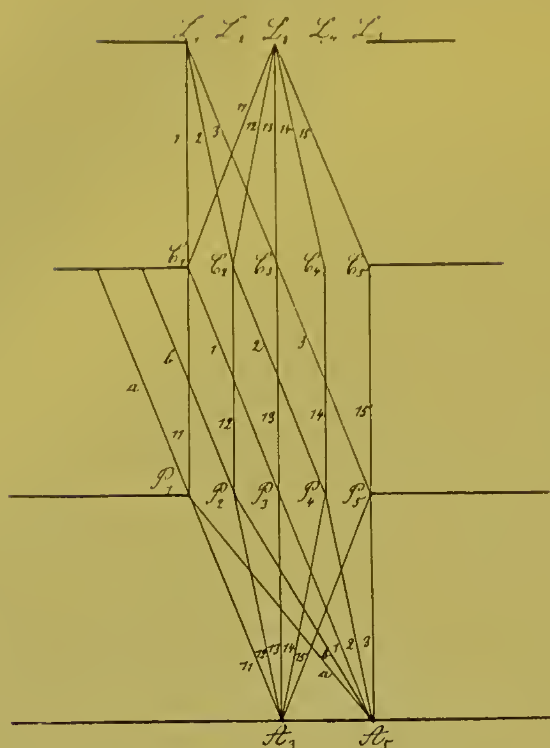
Sehen wir dann zu, welche Strahlen jeden Punkt des Hintergrundes beleuchten, so sind dies beispielsweise für A_3 die Strahlen 21, 17, 13, 9, 5. Man sieht, daß dieselben zwischen P und C einander parallel verlaufen, zwischen den Ebenen C und L sich in dem in der Mitte gelegenen Punkte F schneiden und von L_1, L_2, L_3, L_4 und L_5 herkommen.

Ganz ähnlich gilt dies auch für die anderen Punkte des Hintergrundes, wie man sich leicht aus den Zahlen, die an jedem Strahl stehen, überzeugen kann.

Wir sehen also, daß in allen 3 Fällen genau dasselbe stattfindet. Stets wird das emmetropische Auge von Parallelstrahlen beleuchtet, ganz gleichgültig, wo die Lichtquelle steht, und wie von dieser das Licht auf das Auge auftrifft. Wir können demnach sehr einfach in jedem Falle die Strahlen, welche einen Punkt des Hintergrundes beleuchten, dadurch finden, daß wir von diesem Punkte aus diejenigen Strahlen zeichnen, welche derselbe im leuchtenden Zustande selbst aussenden würde. In Figur 11 wird A_3 zunächst die Strahlen 11, 12, 13, 14, 15 auf die Pupille senden, dort würden dieselben als parallele Strahlen austreten, da wir es ja mit einem emmetropischen Auge zu thun haben, und so bis C_1, C_2, C_3, C_4 und C_5 ziehen. Parallelstrahlen werden aber im Brennpunkt einer Konvexlinse vereinigt, und da dieser Brennpunkt L_3 ist, so müssen sich die von A_3 ausgegangenen Strahlen in L_3 vereinigen. Man sieht, daß diese Konstruktion die sehr viel einfachere ist, da wir dann nicht nötig haben, erst sämtliche Strahlen, die von der Lichtquelle ausgehen, zu zeichnen, sondern wir brauchen nur diejenigen Strahlen darzustellen, welche wirklich A_3 beleuchten. Ebenso finden wir so sehr einfach die Strahlen, welche einen seitlich gelegenen Punkt, z. B. A_5 beleuchten.

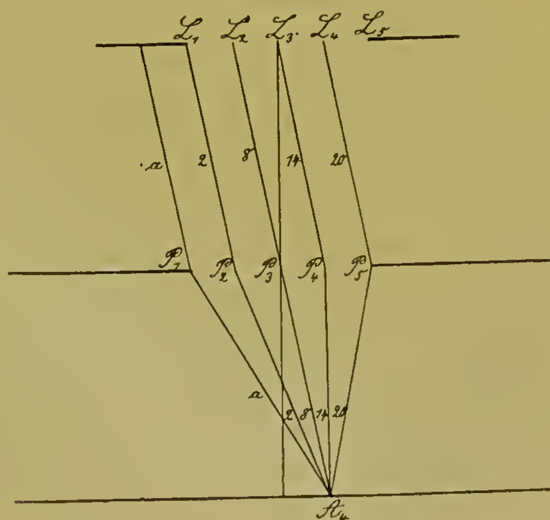
In der Figur 14 ist diese vereinfachte Form des Strahlenganges für die beiden Punkte A_3 und A_5 dargestellt, nachträglich sind an die Strahlen diejenigen Zahlen, welche der Bezeichnung in Figur 11 entsprechen, hinzugeschrieben. Für die Strahlen, welche nicht in der Figur 11 vorkommen, sind als Bezeichnung kleine lateinische Buchstaben gewählt. Von A_3 in Figur 14 gehen die Strahlen 11, 12, 13, 14, 15 aus, welche sich in L_3 vereinigen, von A_5 gehen die Strahlen a, b, 1, 2, 3 aus, von denen a und b nicht zur Lichtquelle hingelangen, 1, 2, 3 dagegen sich in L_1 schneiden. Vergleicht man diese beiden Punkte mit den entsprechenden in Figur 11, so sieht man, daß so in der Tat alle Strahlen gefunden werden, welche von der Lichtquelle zu den beiden Punkten hinziehen. Statt der mit 4 und 5 bezeichneten Strahlen in Figur 11, welche für die Beleuchtung ausfallen, treten hier die Strahlen a und b. Die ausfallenden Strahlen werden also nach den beiden Methoden an verschiedenen Stellen gefunden, im Wesen ist dies jedoch beides dasselbe, da es ja nur auf das Licht ankommt, welches zu dem Punkte A_5 wirklich hingelangt.

Figur 14.



In Figur 15 ist derselbe vereinfachte Strahlengang für den Punkt A_4 der Figur 12 und in Figur 16 für den Punkt A_0 der Figur 13 dargestellt. Die punktierte Linie X X in Figur 16 ist eine Hilfslinie, welche durch den Knotenpunkt C_3 der Konvexlinse parallel den Strahlen 20 und 24 gezogen ist, um den Schnittpunkt derselben zu finden. Die

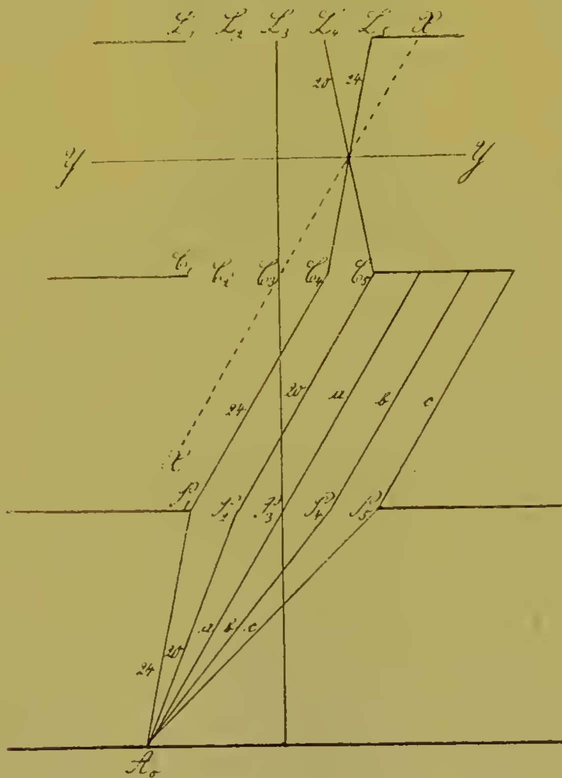
Figur 15.



Ebene Y Y ist die Brennebene der Linse C, da wir ja wissen, daß die Lichtquelle um das Doppelte der Brennweite von der Konvexlinse in diesem Falle entfernt ist. (Siehe oben in der Erklärung zu Figur 13.)

Es ist nun noch zu zeigen, daß auch für das myopische und für das hypermetropische Auge ganz das Gleiche stattfindet, daß man auch hier das Recht hat, die Konstruktion der Beleuchtungsstrahlen vom beleuchteten Objekte aus vorzunehmen. Ich werde mich dabei kürzer fassen und hauptsächlich auf die Abbildungen verweisen. In den Figuren

Figur 16.

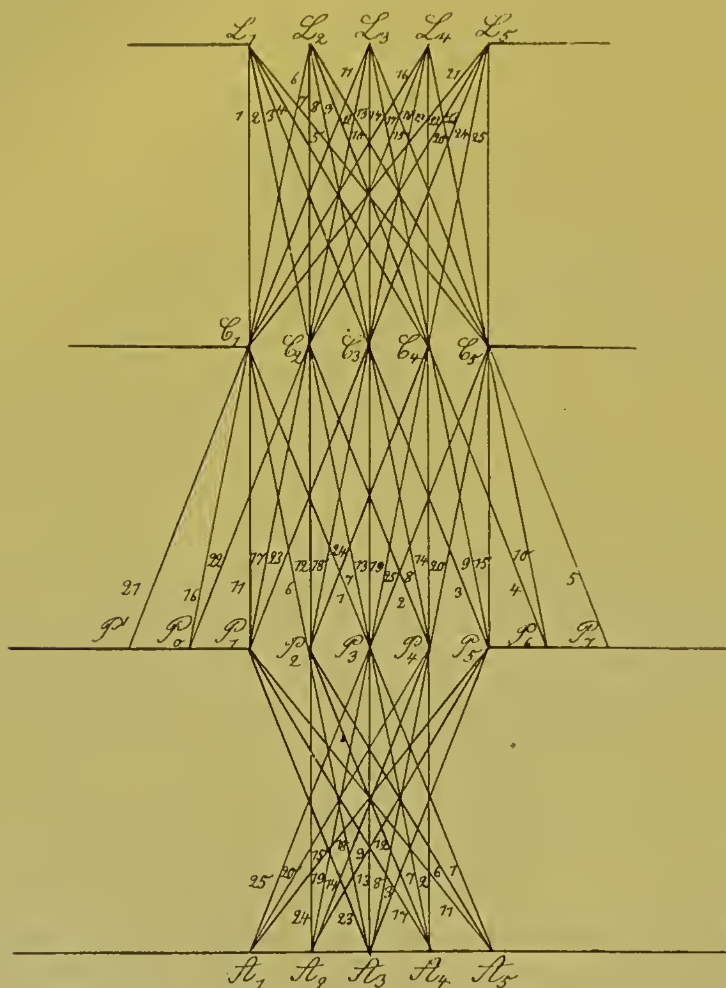


17, 18 und 19 ist in derselben Weise wie vorher für das emmetropische Auge der Strahlengang für ein stark myopisches Auge dargestellt, und zwar ist der Fernpunkt des Auges der leichteren Konstruktion wegen so gewählt, daß er sich ebenso weit vor dem Auge, wie die Netzhaut hinter dem Auge befindet. In Wirklichkeit dürfte eine so hohe Myopie nicht vorkommen, was aber für diesen übertrieben starken Fall gilt, gilt ebenso für die schwächeren Grade der Myopie.

In Figur 17 steht C im Fernpunkt des Auges, die Lichtquelle L im Brennpunkte von C, so daß paralleles Licht auf das Auge auftrifft. Die Strecken L C, C P und P A sind der Einfachheit halber gleich gewählt. Als Resultat finden wir hier, daß z. B. A_3 nur von den Strahlen

23, 18, 13, 8, 3 beleuchtet wird. Es sind dies diejenigen, welche durch C_3 gegangen sind. Dasselbe hätten wir umgekehrt gefunden, wenn wir von A_3 den Strahlengang konstruiert hätten. Obgleich also hier paralleles Licht auf das stark myopische Auge fällt, wird dasselbe doch tatsächlich von stark divergentem Lichte beleuchtet.

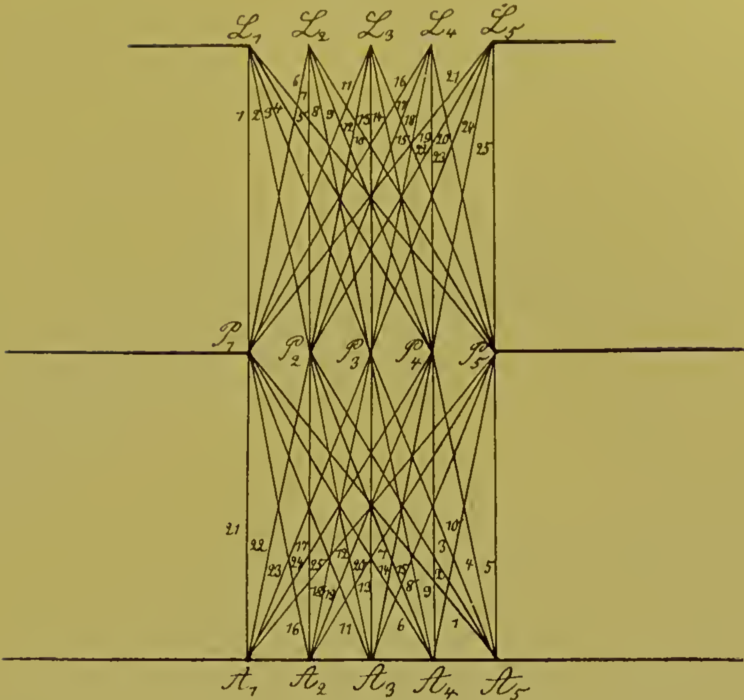
Figur 17.



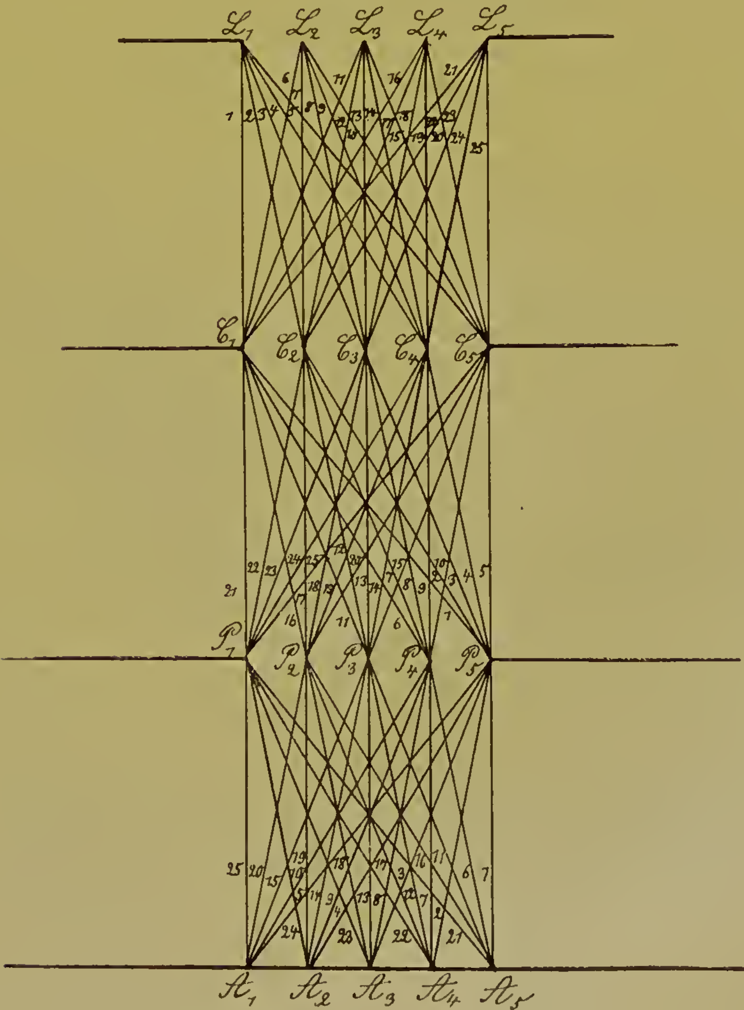
In Figur 18 ist der Fall dargestellt, daß das myopische Auge von divergentem Lichte beleuchtet wird. Die Lichtquelle steht im Brennpunkte des Auges. Für diesen Fall ist ohne weiteres verständlich, daß auf jeden Punkt des Hintergrundes solche Strahlen auftreffen müssen, die vor dem Eintritt in das Auge divergent waren. Ich will dabei bemerken, daß die Bezeichnungen divergent und konvergent für diese Figuren stets von der Lichtquelle aus gedacht sind.

In Figur 19 wird das myopische Auge von stark konvergentem

Figur 18.

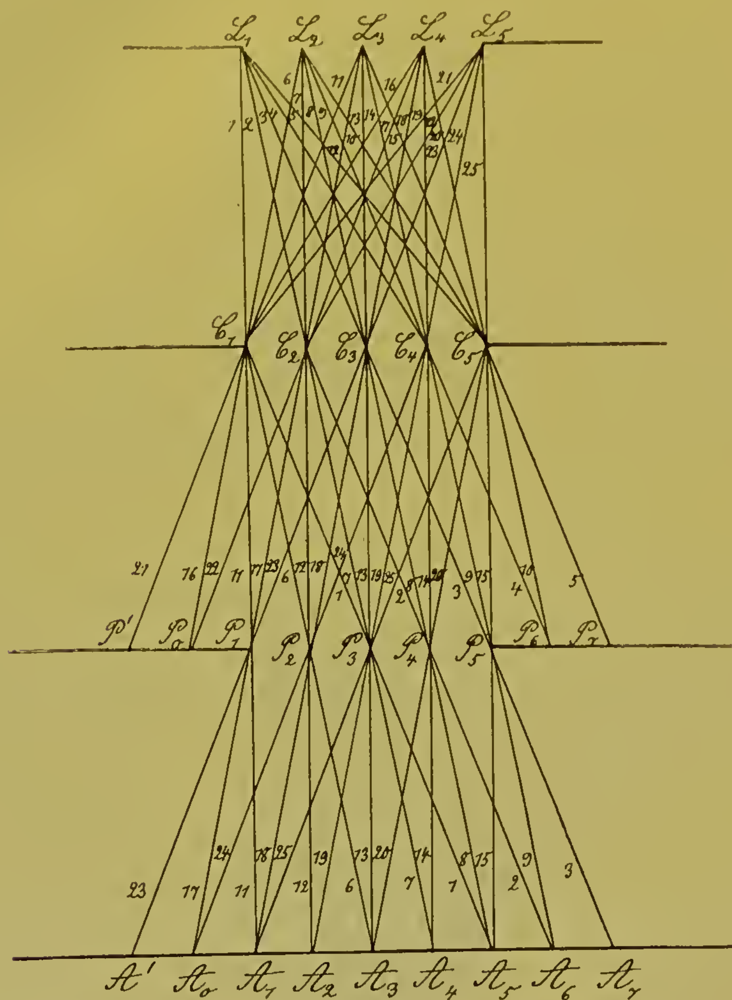


Figur 19.



Lichte beleuchtet. Die Lichtquelle L_1—L_5 wird durch die Konvexlinse C_1—C_5 auf der Pupille P_1—P_5 abgebildet. Hier erreichen den Punkt A_3 des Hintergrundes die Strahlen 23, 18, 13, 8, 3. Dieselben sind auf dem Wege von P bis C divergent auf das Auge gekommen, indem sie

Figur 20.



von C_3 ausgegangen sind. Vor C_3 sind diese Strahlen von den verschiedenen Punkten der Lichtquelle ausgegangen, und zwar:

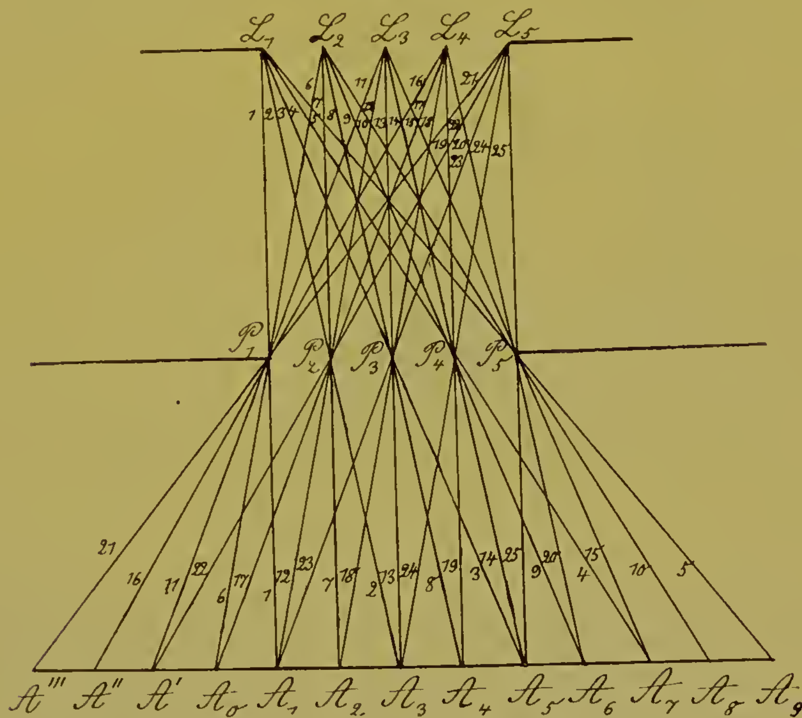
3 von L_1,
8 „ L_2,
13 „ L_3,
18 „ L_4,
23 „ L_5.

Wir bekommen also das scheinbar widersprechende Resultat, daß das Auge von stark divergentem Licht beleuchtet ist, während wir doch

stark konvergentes Licht auf das Auge senden. Die richtige Art des Strahlenverlaufes finden wir also auch hier in einfachster Weise so, daß wir vom Hintergrunde des Auges ausgehen, uns diesen selbstleuchtend vorstellen und den Strahlengang bis zur Lichtquelle zeichnen. Es müssen sich dann die von A_3 ausgehenden Strahlen in C_3 vereinigen und von da nach den verschiedenen Punkten der Lichtquelle ziehen.

Endlich betreffen die Figuren 20, 21 und 22 das hypermetropische Auge. Es ist hier im Interesse der Einfachheit der Konstruktion wieder ein übertrieben starker Fall von Hypermetropie gewählt worden, wie er

Figur 21.

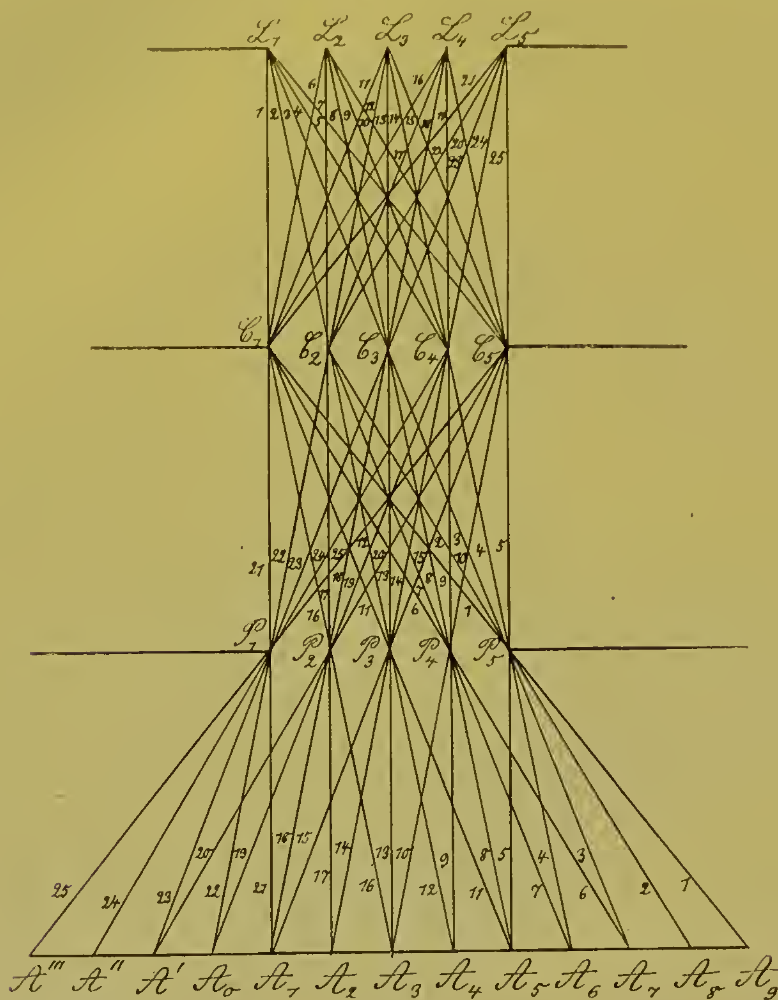


in Wahrheit nicht vorkommt, nämlich so, als wenn das Auge überhaupt keine brechende Kraft besäße, sondern die Strahlen ungebrochen durch die Pupille weiterzögen. In gleicher Weise wie für das emmetropische und das myopische Auge ist auch wieder in Figur 20 die Beleuchtung durch paralleles Licht, in Figur 21 durch divergentes und in Figur 22 durch konvergentes Licht dargestellt. In allen 3 Fällen geschieht die wahre Beleuchtung des Hintergrundes durch konvergentes Licht, und auch hier finden wir den richtigen Strahlenverlauf so, daß wir von dem Punkte des Hintergrundes ausgehen und von da bis zur Lichtquelle fortschreiten.

Ganz allgemein können wir dieses Gesetz so aussprechen:

Ein Punkt (des Augenhintergrundes) kann nur von solchen Strahlen beleuchtet werden, welche auf demselben Wege, aber in umgekehrter Richtung verlaufen, wie diejenigen Strahlen, die er im leuchtenden Zustande selbst aussenden würde. . . . . 1)

Figur 22.



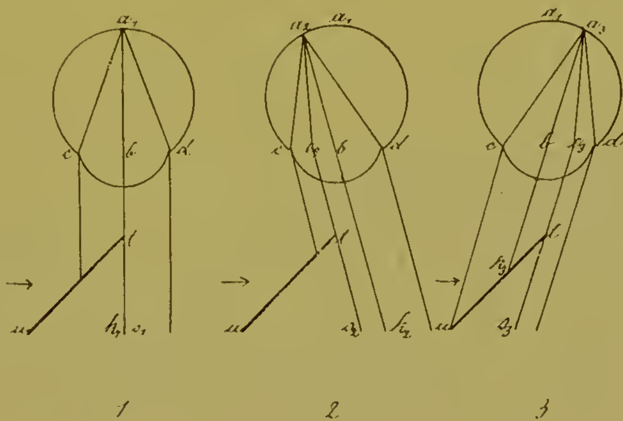
Dieses Gesetz folgt auch ohne die lange Ableitung, die ich gegeben habe, ohne weiteres aus der Umkehrbarkeit aller optischen Vorgänge. Es erschien mir aber doch notwendig, an den verschiedenen Fällen dasselbe genau auszuführen, da in den meisten Darstellungen des Strahlenganges bei der Augenspiegeluntersuchung Fehler in dieser Richtung gemacht werden, und da die klare Erkenntnis dieser Vorgänge ganz bedeutend das weitere Verständnis erleichtert.

Um nun wieder zu der Aufgabe zurückzukehren, auf welche dieses Gesetz angewandt werden soll, so handelt es sich darum, festzustellen,

ob durch die Methode der Teilung der Pupille in eine zur Beleuchtung und eine zur Beobachtung dienende Hälfte der Reflex beseitigt werden kann.

In der Figur 23 ist in 1, 2 und 3 ein emmetropisches Auge dargestellt, und zwar sollen die Beleuchtungsverhältnisse in 1 für einen gerade in der optischen Achse liegenden Punkt a_1, in 2 für einen Punkt a_2, der auf der linken Hälfte des Hintergrundes liegt, und in 3 für einen Punkt a_3, der auf der rechten Hälfte des Hintergrundes sich befindet, dargestellt werden. Es sei hier noch bemerkt, daß die Betrachtungen natürlich für jede Schiefstellung des Auges auch gelten. a_1 ist stets derjenige Punkt, auf welchem sich gerade die Spiegelkante abbildet, nicht aber etwa immer der auf der Mitte des Hintergrundes gelegene Punkt. Dies ist nur dann der Fall, wenn die Macula lutea in

Figur 23.



die Mitte des Bildes gebracht wird, wie dies in den Figuren der Einfachheit halber dargestellt ist.

t u ist ein Planspiegel, welcher in t mit einer zur Zeichnungsebene senkrechten Linie abschneidet und so vor die halbe Pupille gestellt ist, daß das in der Richtung des Pfeiles auffallende Licht auf das Auge reflektiert wird. c d ist jedesmal die Pupille des Auges, b der Knotenpunkt desselben, als welcher der Mittelpunkt der Pupille gedacht ist, eine Vereinfachung der Darstellung, welche praktisch für diesen Fall erlaubt ist. Nach dem Satz 1) finden wir also die Beleuchtungsstrahlen für die Punkte a_1, a_2 und a_3 so, daß wir für jeden das aus dem Auge austretende parallele Bündel zeichnen, welches dieser Punkt im selbstleuchtenden Zustande aussenden würde. Wo dieses Bündel auf den Spiegel auftrifft, wird es zur Lichtquelle reflektiert und dient somit als Beleuchtungsbündel; wo es an dem Spiegel nach rechts vorbeigeht, dient es zur Beobachtung. In dem Falle 1 ist nun wirklich die volle linke

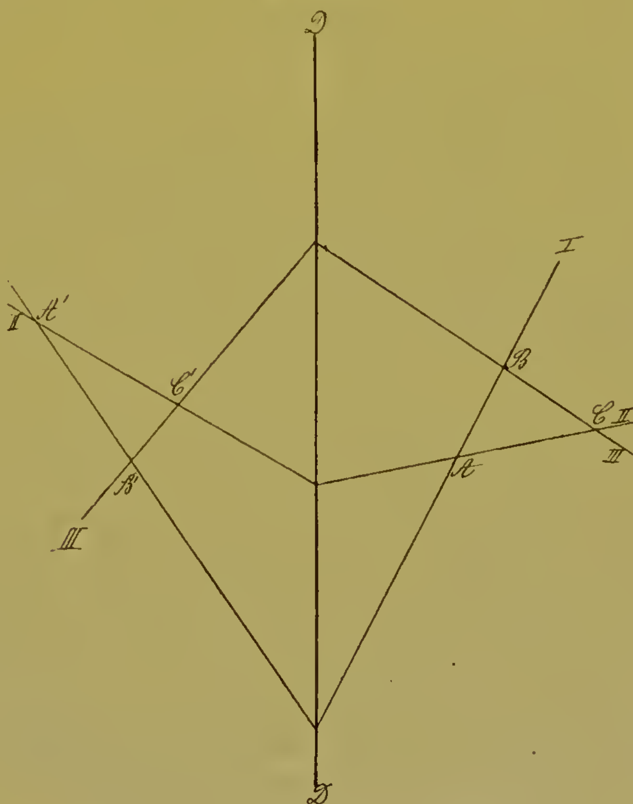
Hälfte des Strahlenbündels zur Beleuchtung, die rechte Hälfte zur Beobachtung benutzt. Aber nur für diesen einen Fall verhält es sich so. Das Gleiche wie für a_1 gilt noch für die senkrecht über und unter a_1 liegenden Punkte, im Ganzen für diejenige Linie des Hintergrundes, welche die Projektion der Spiegelkante darstellt. Nehmen wir aber nun einen Punkt a_2, der links von a_1 liegt, so geht der Hauptstrahl a_2 k_2 an der Spiegelkante t vorbei, und auf die Spiegelkante selbst trifft derjenige Strahl a_2 s_2 auf, welcher von einem Punkte der Pupille e_2 herkommt, der links von b liegt. Es wird somit in diesem Falle das Beleuchtungsbündel kleiner als die Hälfte der Pupille, das Beobachtungsbündel größer. Aber ein Teil dieses Beobachtungsbündels kommt von dem Pupillenteile b e_2 her, und dieser soll ja zur Beleuchtung dienen und wird auch von Beleuchtungsstrahlen getroffen, zwar nicht von solchen, die nach a_2 gehen, aber doch z. B. von denen, die nach a_1 ziehen. Jedenfalls gibt dieser Teil b e_2 einen Reflex, und derselbe wird desto größer sein, je weiter sich a_2 von der Mittellinie nach links entfernt. Da nun der Hornhautreflex im Vergleich zu dem Lichte vom Hintergrunde sehr intensiv ist, so wird sich die ganze linke Hälfte des Hintergrundes der Beobachtung entziehen.

Wie ist es nun für die rechte Hälfte? In 3 ist die Beleuchtung für einen solchen Punkt a_3 dargestellt, der rechts von a_1 liegt. Hier trifft der durch den Knotenpunkt b laufende Strahl a_3 k_3 den Planspiegel selbst, und an der Spiegelkante t vorbei läuft ein Strahl a_3 s_3, welcher die Pupille in e_3 trifft. Es dient somit hier ein größerer Teil als die Hälfte zur Beleuchtung, nämlich die Strecke c e_3, und ein kleinerer Teil als die Hälfte zur Beobachtung, nämlich die Strecke e_3 d. Es wird also von den Beleuchtungsstrahlen auch ein Teil b e_3 derjenigen Pupillenhälfte getroffen, welcher eigentlich zur Beobachtung dienen soll, und dieser Teil wird ebenfalls einen Reflex ausstrahlen. Dies ist für alle Punkte, welche rechts von a_1 liegen, der Fall, und somit entzieht sich auch die ganze rechte Hälfte des Augenhintergrundes der Beobachtung.

Das Licht, welches bei dieser Anordnung schädlich ist, ist also stets dasjenige, welches über die Mittellinie t b, sei es nach rechts, sei es nach links hin, tritt. Durch blosse Annäherung des Spiegels an das Auge läßt sich dieses Uebertreten des Lichtes nicht vermeiden, denn selbst wenn man den Spiegel mit der Hornhaut zur Berührung bringen könnte, würde dennoch oben und unten, wo sich die Hornhautkrümmung der Spiegelkante nicht anschließt, ein solches Uebertreten des Lichtes auf die andere Hälfte stattfinden, und ferner würde auch an der Linse

des Auges ein schädlicher Reflex entstehen. Beseitigt wäre der Reflex nur dann, wenn es möglich wäre, eine Scheidewand zwischen t und b anzubringen, welche das Uebertreten der Strahlen auf die andere Hälfte verhindert und welche weit in das Auge hineinreichen müßte. Eine solche Scheidewand läßt sich nun optisch in der Tat erzeugen, und da hierauf die ganze Konstruktion der folgenden Apparate beruht, muß ich dieses Prinzip ausführlicher schildern. Um aber zu erklären, wie eine solche Scheidewand erzeugt werden kann, ist es notwendig, vorher kurz auf die Lehre von den Eintritts- und Austrittspupillen, welche wir hauptsächlich Abbe verdanken, einzugehen.

Figur 24.



Wenn in Figur 24 D D eine brechende Fläche darstellt, so mögen auf dieselbe von rechts her die drei Strahlen I, II und III auftreffen. Jeder dieser drei Strahlen wird nun nach bestimmten Gesetzen gebrochen, und es ist daher ganz gleichgültig, wie sich die beiden anderen Strahlen zu ihm verhalten. Wenn die Krümmung der Fläche D D, die hier schematisch als Ebene dargestellt ist, und die Brechungsexponenten der Medien bekannt sind, so ist für jeden der 3 Strahlen der weitere Verlauf leicht zu finden. Betrachten wir nun nur die Strahlen I und II,

so schneiden sich dieselben rechts von der Fläche D D im Punkte A und links von ihr im Punkte A'; wir sagen also: A wird in A' abgebildet. Betrachten wir nur die Strahlen I und III, so schneiden sie sich rechts von der Fläche D D in B, links von ihr in B'. In diesem Falle wird also B in B' abgebildet. Und wenn wir nur die Strahlen II und III betrachten, so schneiden sich dieselben in C und C', d. h.: C wird in C' abgebildet. Wir sehen also, daß ganz dieselben Strahlen je nach ihrer Gruppierung von Punkten, die in den verschiedensten Ebenen liegen, gleichzeitig Bilder entwerfen. Da nun in Wahrheit bei jeder Abbildung nicht blos 3, sondern unendlich viele Strahlen vorhanden sind, so schneiden sich dieselben auch in jeder denkbar möglichen Ebene. Jedem solchen Schnittpunkt entspricht auf der anderen Seite des brechenden Systems ein Vereinigungspunkt. Wir können immer sagen, dieser Vereinigungspunkt ist das Bild des Schnittpunktes.

Besonderes Interesse hat nun die Ebene, in welcher das Bild entsteht, welches wir betrachten wollen und zu dessen Erzeugung das optische Instrument dient. Auf diese wurde früher allein die Aufmersamkeit gerichtet. Trotzdem aber findet die Abbildung aller Punkte aller anderen Ebenen gleichfalls statt. Von großer Wichtigkeit sind nun außer den Bildebenen diejenigen, wo die Strahlenbüschel ihre engste Begrenzung finden und die im Raum des Objektes als Eintrittspupille, im Raum des Bildes als Austrittspupille bezeichnet werden.

Wenn wir dies auf den Spezialfall des Augenspiegels anwenden, so ist hier die Eintrittspupille stets die wirkliche Pupille des zu beobachtenden Auges; die Austrittspupille muß hier, wie in jedem richtig konstruierten optischen Instrument, in die wirkliche Pupille des Beobachters fallen. Wir haben also stets dafür zu sorgen, daß neben der Abbildung des Augenhintergrundes auf unserer Netzhaut auch ein Bild der Pupille des Beobachteten auf unserer Pupille entsteht.

Die Erkenntnis dieser Gesetze, welche für die Eintritts- und Austrittspupille gelten, gibt uns aber auch ein Mittel an die Hand, um den Reflex wirklich zu beseitigen. Wir hatten in der Figur 23 gesehen, daß nur die Mittelsenkrechte des Bildes ohne Reflexe sein kann, daß dagegen für jeden Punkt der linken Hälfte des Hintergrundes ein Teil der zur Beleuchtung dienenden Pupillenhälfte mit zur Beobachtung und daß für jeden Punkt der rechten Hälfte des Hintergrundes ein Teil der zur Beobachtung dienenden Pupillenhälfte mit zur Beleuchtung benutzt wird. Schädlich war immer dasjenige Licht, welches über die Mittellinie t b herübertritt. Ich sagte deshalb, daß in t b sich eine Scheidewand befinden müßte, welche tief in das Auge hineinreicht. Denselben Effekt

wie eine solche Scheidewand würde es offenbar haben, wenn wir in der Pupillenhälfte c b eine Abblendung anbringen könnten, welche verhindert, daß für die Beobachtung Strahlen dieser Pupillenhälfte entnommen werden, während sie aber den Beleuchtungsstrahlen den Durchtritt frei gestatten müßte. Ferner müßte in der Pupillenhälfte b d eine Abblendung liegen, welche den Beleuchtungsstrahlen den Durchtritt durch diese Pupillenhälfte unmöglich macht, während die Beobachtungsstrahlen ungehindert durch sie passieren können. Da nun die Abblendung c b nur für die Beobachtungsstrahlen existieren soll, so muß sie im Beobachtungssystem da liegen, wo ein Bild dieser Pupillenhälfte c b entsteht, und da die Abblendung b d nur für die Beleuchtungsstrahlen existieren soll, so muß sie im Beleuchtungsrohr da liegen, wo ein Bild dieser Pupillenhälfte b d im Beleuchtungsrohr entsteht.

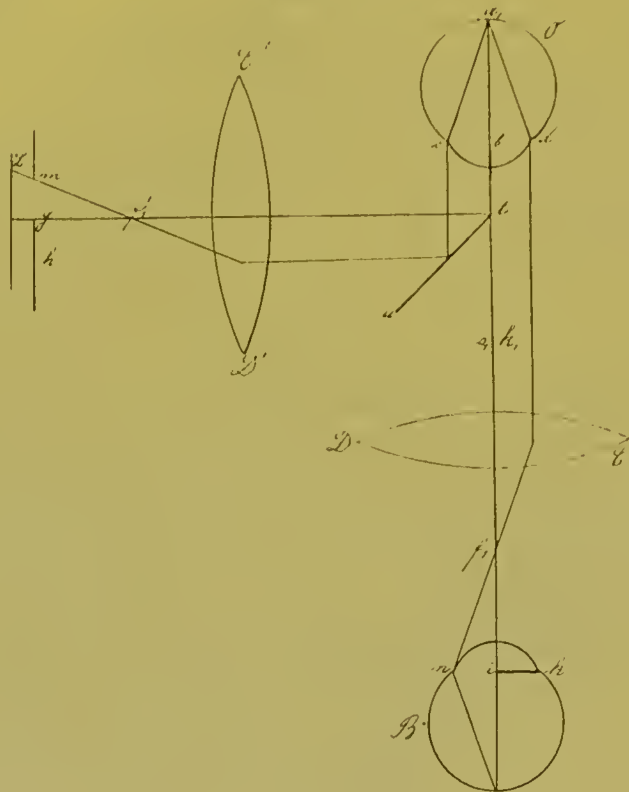
Ein Blick auf die Figur 13 wird uns die Art, wie solche Abblendungen wirken, klarer machen. In der Beschreibung zu dieser Figur war gesagt, daß von L_1—L_5 ein scharfes Bild auf P_1—P_5 entworfen wird, also ist auch umgekehrt L_1—L_5 das Bild von P_1—P_5. Gesetzt nun, wir hätten die Aufgabe, den Hintergrund A'—A_7 so zu beleuchten, daß keine Strahlen durch die rechte Pupillenhälfte P_3—P_5 eintreten sollen, so würde hierzu eine Abblendung, die sich von $P_3 - P_5$ erstreckt, genügen, aber auch nach eben Gesagtem dieselbe Abblendung, wenn sie sich vorher an der Stelle des Bildes dieser Strecke P_3—P_5 befindet. Da nun P_3 sich in L_3 abbildet, P_4 in L_2 und P_5 in L_1, so würde eine Abblendung vor der Lichtquelle, welche von L_1—L_3 reicht, denselben Effekt erzeugen. Die Zahlen an den Lichtstrahlen geben ein leichtes Mittel, die Richtigkeit zu kontrollieren. Wenn der Punkt L_3 selbst, welcher an der Grenze liegt, nicht mit abgeblendet wird, sondern nur L_1 und L_2 zugedeckt werden, so fallen die Strahlen aus, welche mit 1, 2, 3, 4, 5 und mit 6, 7, 8, 9, 10 bezeichnet sind. Sucht man sich diese Strahlen im Augenhintergrunde, so sind es tatsächlich alle diejenigen, welche von der rechten Pupillenhälfte ausgehen, während die von der linken Pupillenhälfte kommenden Strahlen dadurch unberührt bleiben. Ferner wird aber die rechte Seite des Augenhintergrundes, also die Punkte A_3, A_4, A_5, trotzdem nach wie vor beleuchtet, nur daß ein Teil der für sie bestimmten Strahlen ausfällt.

In den Figuren 25—27 ist die Wirkungsweise dieser beiden Abblendungen im Beleuchtungs- und Beobachtungssystem für den einfachen Fall dargestellt, daß dieses Beleuchtungs- und Beobachtungssystem aus einer einzigen Konvexlinse besteht. Ohne weiteres ist es klar, daß das Prinzip dann nicht mehr gewahrt werden kann, sobald Be-

leuchtungs- oder Beobachtungsteil keine Linsen mehr enthält, wie dies etwa der Beobachtung im aufrechten Bilde entspricht.

Denn wir brauchen zu der Wahrung dieses Prinzips ein reelles Bild der Pupille des beobachteten Auges sowohl im Beleuchtungs- wie im Beobachtungsraum, und um ein solches zu erzeugen, dazu gehört mindestens eine Konvexlinse. Diese Konvexlinse ist in einfachster Weise in den Figuren 25—27 mit einer

Figur 25.

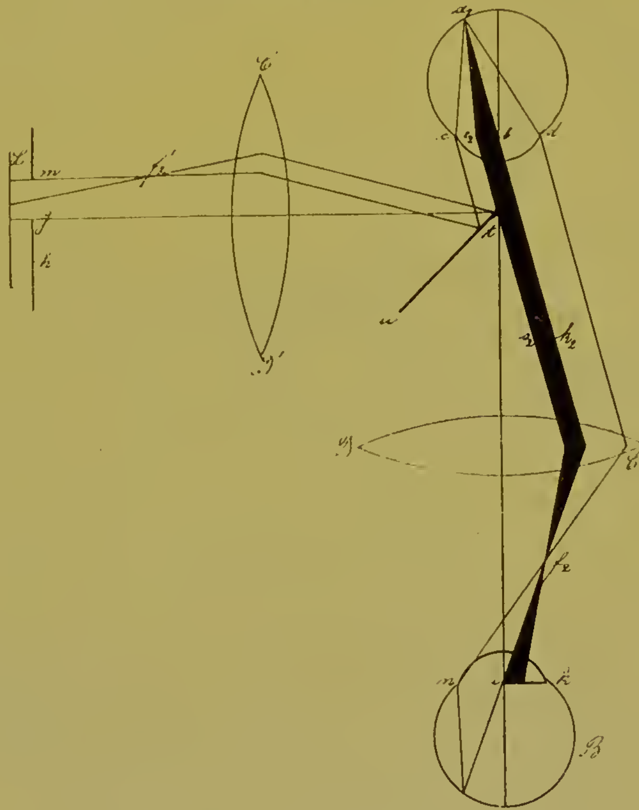


Brennweite von 25 cm gedacht, sodaß also das Bild des Augenhintergrundes in einer Entfernung von 25 cm vor dieser Linse liegt. Da der Beobachter, um dieses Bild bequem zu sehen, wiederum 25 cm von demselben entfernt sein muß, ist er also im ganzen von der Linse 50 cm = 2 f entfernt. Damit ein Bild seiner Pupille auf der Pupille des Beobachteten entsteht, muß also die Linse auch wieder um 50 cm = 2 f von dem Beobachteten entfernt sein. Dicht vor dem Auge des Beobachteten muß dann die Abblendung liegen, welche der halben Pupillenhälfte entspricht. Der zur Beleuchtung dienende Teil wird am besten

genau so, wie der zur Beobachtung dienende, konstruiert, und hier liegt die Abblendung dann dicht vor der Lichtquelle.

In den Figuren 25—27 stellt L jedesmal die Lichtquelle dar, C′ D′ eine Bikonvexlinse von 25 cm Brennweite, welche ein Bild der Lichtquelle in natürlicher Größe mit Hilfe des Spiegels t u auf der Pupille c d des beobachteten Auges O entwirft. Die aus dem Auge austretenden Strahlen werden von der Bikonvexlinse C D von ebenfalls 25 cm Brennweite in f_1, f_2 oder f_3 zum Bilde vereinigt und vom Auge B des Beob-

Figur 26.



achters mit der Pupille n k wahrgenommen. m g ist nun das Bild von c b, und g h das von b d. In g h befindet sich eine Abblendung, sodaß das Licht von der Lichtquelle nur durch die Oeffnung g m eintreten kann. Ferner ist n i das Bild von b d, und i k dasjenige von c b. In i k befindet sich eine Abblendung[1]), sodaß das Licht nur durch n i zum Beobachter treten kann. Die 3 Figuren entsprechen nun den 3 Fällen,

1) Dieselbe liegt in Wirklichkeit vor dem Auge. Der einfacheren Darstellung wegen ist die Blende in das Auge selbst hineingezeichnet.

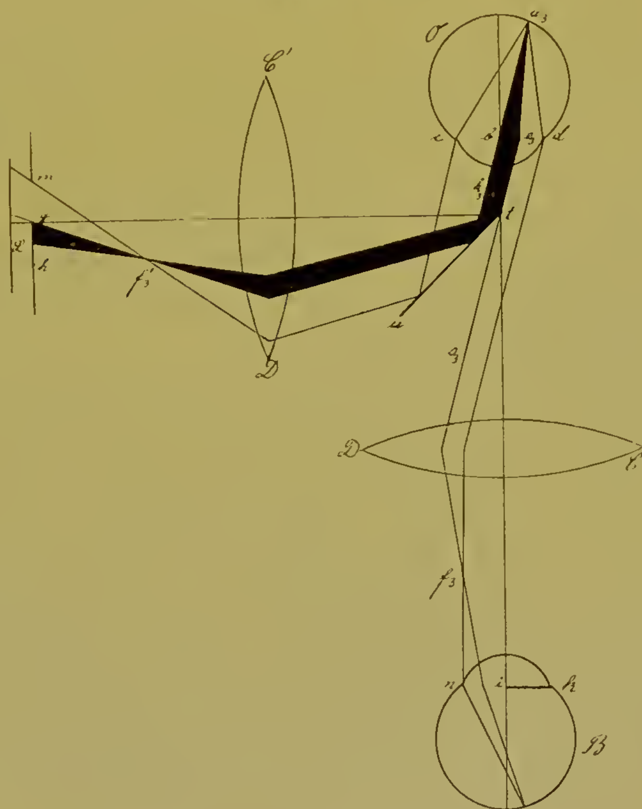
welche in der Figur 23 dargestellt sind und zwar die Figur 25 dem Falle 1, die Figur 26 dem Falle 2 und die Figur 27 dem Falle 3 in der Figur 23.

Konstruieren wir den Strahlengang vom Auge O nach beiden Seiten hin, sowohl zum Beobachter wie zur Lichtquelle, so schneiden sich die Strahlen jedesmal im Brennpunkte der Konvexlinse, und zwar sowohl im Beobachtungsteile in f_1, f_2 und f_3, wie im Beleuchtungsteile in f_1', f_2' und f_3'. Man sieht nun, daß für den Fall in Figur 25 resp. 23, 1, der die Abbildung eines in der optischen Achse gelegenen Punktes a_1 darstellt, die Abblendungen gar keine Wirkungen haben. Sowohl die zur Beleuchtungshälfte e b gehenden Strahlen gehen alle ungehindert durch m g hindurch, kreuzen sich in f_1', werden durch C' D' parallel gemacht und vom Spiegel t u reflektiert, als auch die aus der Beobachtungshälfte b d austretenden Strahlen gehen alle ungehindert durch n i in das Auge B, nachdem sie sich in f_1 gekreuzt haben. Für diesen Fall sind die Abblendungen unnütz, aber auch nicht schädlich gewesen. Anders ist es in dem Fall in Figur 26, der dem von Figur 23, 2 entspricht. Hier war dasjenige Licht schädlich, welches aus dem Teil e_2 b der Beleuchtungshälfte der Pupille in das Beobachtungssystem eintrat. Verfolgen wir den Verlauf des ganzen Bündels im Beobachtungsrohr weiter, so kreuzt sich dieses in f_2 und tritt nun zum Teil durch n i in das Auge B, zum Teil aber fällt es auf die Abblendung i k. Dieser letztere Teil ist schwarz schraffiert, und wenn wir ihn weiter zurück verfolgen, so sehen wir, daß es gerade derjenige ist, welcher aus e_2 b ausgetreten ist. Im Beleuchtungsrohr hat für diesen Fall die Abblendung keine Wirkung, denn das schmale Bündel c e_2 tritt ungehindert durch einen Teil der Oeffnung m g zur Lichtquelle, resp. umgekehrt das Licht auf diesem Wege zum Auge O. Das Gleiche gilt für alle Punkte, welche auf der linken Hälfte des Hintergrundes von O liegen, d. h. auf derjenigen Hälfte, welche dem Beleuchtungsspiegel zugewandt ist. Für alle diese nach der Beleuchtungsseite liegenden Punkte des Hintergrundes blendet die im Beobachtungssystem befindliche Blende den schädlichen Reflex bildenden Teil ab. In der Figur 27, dem Falle von 23, 3, tritt nun die Blende im Beleuchtungssystem in Function. Schädlich würde hier dasjenige Licht sein, welches, um den im Hintergrunde rechts von a_1 gelegenen Punkt a_3 zu beleuchten, durch den Teil b e_3 der Beobachtungshälfte der Pupille eintreten würde. Schraffieren wir dieses Bündel und verfolgen wir es weiter rückwärts von der Lichtquelle her, so könnte es nur durch einen Teil, welcher unterhalb g liegt, eintreten, wird aber daran durch die Abblendung gehindert. Dasjenige Licht,

welches durch g m eintritt, ist auch nur dasselbe, welches im Auge durch e b eintritt und somit nicht schädlich. Für das Beobachtungssystem tritt in diesem Falle die Blende nicht in Funktion, da der verschmälerte Teil e_3 d ungehindert durch den äußeren Teil der Oeffnung n i in das Auge B eintritt.

Wir sehen also, daß für die eine Hälfte des Augenhintergrundes die Reflexe durch die Abblendung im Beobachtungssystem, für die andere Hälfte durch die im Beleuchtungssystem beseitigt werden.

Figur 27.



Dies gilt ebenso wie für die Reflexe an der Hornhaut auch für diejenigen, welche an der vorderen und hinteren Linsenfläche des Auges entstehen. Da auf die Krümmung der Hornhaut und die Reflexionsrichtung der Strahlen bei dem Prinzip gar keine Rücksicht genommen ist, so verschwinden die Reflexe nicht bloß bei einem bestimmten Neigungswinkel der Hornhaut, sondern ganz allgemein bei jeder beliebigen Stellung des Auges.

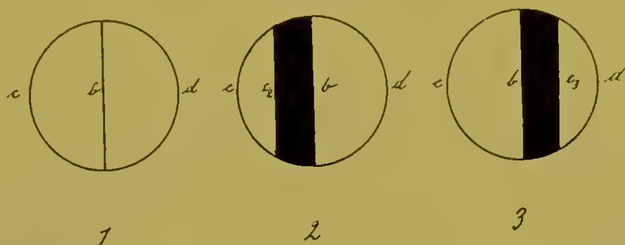
Das Princip würde selbst dann noch gewahrt sein, wenn gar nicht die Beleuchtung mittels eines Planspiegels t u, der sich vor der halben

Pupille befindet, stattfände, sondern wenn statt dieses eine spiegelnde Glasplatte das Licht auf das Auge leitete, im übrigen dieselbe Anordnung wie in den Figuren 25—27 bleibt. Es wäre dann nur der Unterschied, daß jede der beiden Abblendungen die Reflexe für das ganze Bild beseitigte. Bei der Anordnung, wie sie in den Figuren 25—27 dargestellt ist, würde die Entfernung der einen der beiden Abblendungen die Folge haben, daß die eine Bildhälfte von einem großen Reflex überdeckt wäre, während die andere noch zur Beobachtung erhalten bliebe. Bei Verwendung einer Glasplatte würde nach Entfernung einer Blende sofort das ganze Bild vom Reflex überdeckt werden. Die Verwendung eines Planspiegels oder, was dasselbe ist, eines total reflektierenden Prismas, hat nun vor derjenigen einer Glasplatte den Vorzug, daß es möglich ist, den Spiegel resp. das Prisma nach der Seite des Beobachters zu absolut dunkel abzudecken, während bei Verwendung einer Spiegelglasplatte sowohl das durch dieselbe hindurchtretende Licht, wie dasjenige, welches durch die auf der Spiegelglasplatte unvermeidlich lagernden feinen Staubteilchen reflektiert würde, die Beobachtung erheblich stören müßte, weil dann das sehr zarte Bild des Hintergrundes von einem diffusen Schleier bedeckt sein würde.

Ein Nachteil ist aber mit diesem Prinzip der Beseitigung der Reflexe untrennbar verbunden: das ist eine Helligkeitsabnahme nach den Seiten des Bildes. Für die subjektive Beobachtung ist dieselbe weniger störend, da das menschliche Auge gegen Helligkeitsabstufungen verhältnismäßig unempfindlich ist und man auch durch den dauernden Zwang, das Auge richtig einzustellen, mehr von der Beobachtung derselben abgelenkt wird. Um so mehr aber tritt dieselbe, wie wir später sehen werden, auf der Photographie hervor. Diese Helligkeitsabnahme müssen wir für die verschiedenen Fälle berechnen, um beurteilen zu können, ob überhaupt in der Photographie sich je eine gleichmäßige Beleuchtung erwarten läßt. In Figur 28 ist in 1, 2 und 3 die Pupille des Auges O in der Aufsicht dargestellt. Diese 3 Abbildungen entsprechen den Fällen 1, 2 und 3 der Figur 23 resp. den Figuren 25, 26, 27. Figur 28, 1 stellt den Fall der Beobachtung des in der optischen Achse gelegenen Punktes a_1 dar. Hier dient die volle linke Hälfte c b der Pupille zur Beleuchtung, die volle rechte Hälfte b d zur Beobachtung. In Figur 28, 2 ist c e_2 der zur Beleuchtung dienende Teil, e_2 b, welcher dunkel schraffiert ist, der durch die Blende abgedeckte Teil der Strahlen, während die Hälfte b d voll zur Beobachtung dient. In Figur 28, 3 andererseits dient die volle Hälfte c b zur Beleuchtung, während nur der kleinere Teil e_3 d zur Beobachtung dient, während der Teil b e_3 abgeblendet ist. Da die

Helligkeit in jedem Falle proportional dem Produkte aus eintretendem und austretendem Lichte ist, der eine dieser beiden Faktoren aber stets gleich der vollen Pupillenhälfte ist, so haben wir ein Maß für die Helligkeit, wenn wir den Flächeninhalt b d, $c\,c_2$, c_3 d ausrechnen und diese

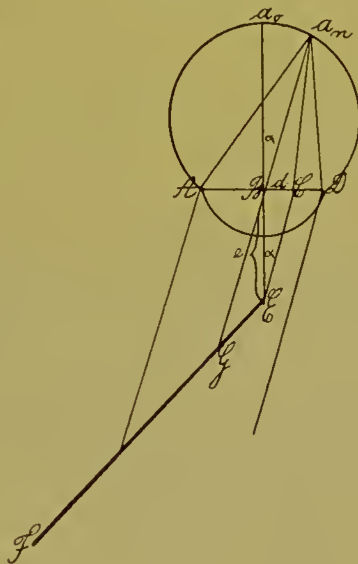
Figur 28.



verschiedenen Flächen zueinander in Beziehung setzen. Drückt man diesen Flächeninhalt in qmm aus, so erhält man ein direktes Maß für die Helligkeit des betreffenden Punktes.

In Figur 29 ist E F der Beleuchtungsspiegel, B der Knotenpunkt des Auges, a_0 derjenige Punkt, wo die Verlängerung von E B den Hintergrund trifft. a_n sei ein beliebiger Punkt, welcher so weit seitlich

Figur 29.

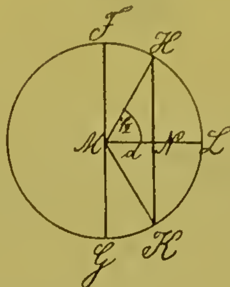


liegt, daß $\angle\, a_0 B a_n = \alpha$ ist. Konstruieren wir dann das austretende Strahlenbündel, indem wir a_n B G als gerade Linie ziehen und durch A, D und E Parallele zu dieser Geraden legen, so trifft die von E ausgehende Parallele die Pupille A D in C. Das Stück B C ist also dasjenige, welches abgeblendet wird, und welches mit d bezeichnet werden

möge; die Entfernung B E sei = e. Dann ist $\angle$ B E C als Gegenwinkel $= a_n Ba_n = \alpha$, und $d = e \operatorname{tg} \alpha$.

Figur 30 stellt dieselbe Pupille in der Aufsicht dar. Hier ist M N = d. Bezeichnen wir dann den Winkel H M K mit φ, so ist der Inhalt des Segmentes H L K = dem Sektor H M K minus dem Dreieck H M K. Ist M L = r, so ist also Segment H L K $= \frac{r^2}{2}$ (arc φ — sin φ).

Figur 30.



Den Winkel φ können wir aber berechnen aus dem Dreieck H M N. Es ist: $\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{d}{r} = \frac{e}{r} \operatorname{tg} \alpha.$

Wir müssen also für jeden Fall die Helligkeit J berechnen nach den beiden Gleichungen:

$$\text{I.} \quad \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{e}{r} \operatorname{tg} \alpha.$$

$$\text{II.} \quad J = \frac{r^2}{2} (\text{arc.}\ \varphi - \sin \varphi).$$

Die Berechnung gestaltet sich etwas kompliziert durch die beiden verschiedenen Funktionen arc φ und sin φ. Die Lösung ist aber immer noch nach dieser Formel die verhältnismäßig einfachste.

Ich will für ein Beispiel die Berechnung ausführen und für die übrigen Fälle dann eine Tabelle aufstellen:

Gegeben sei:

$$e = 7 \text{ mm.} \quad r = 4 \text{ mm.} \qquad \alpha = 20^0.$$

Dann haben wir:

$$\text{I.} \qquad \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{7}{4} \cdot \operatorname{tg} 20^0$$

$$\log 7 = 0{,}84510$$

$$\log \frac{1}{4} = 9{,}39794 - 10$$

$$\log \operatorname{tg} 20^0 = 9{,}56107 - 10$$

$$\log \cos \frac{\varphi}{2} = 9{,}80411 - 10$$

$$\frac{\varphi}{2} = 50^0\ 26' \qquad \varphi = 100^0\ 52'$$

II. $J = 8\ (\operatorname{arc} \varphi - \sin \varphi)$

$\operatorname{arc} \varphi = 1{,}76046$

$\sin \varphi = 0{,}98207$

$\operatorname{arc} \varphi - \sin \varphi = 0{,}77839$

$J = 6{,}23$

Auf diese Weise habe ich für die Werte für 0⁰, 5⁰, 10⁰, 15⁰ und 20⁰ die Helligkeit berechnet, und zwar unter der Voraussetzung, daß die Entfernung der Spiegelkante von der Pupillarebene 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 und 13 mm beträgt. Die Entfernung vom Hornhautscheitel ist immer um 3 mm geringer. Die kleinste Entfernung vom Hornhautscheitel, für die die Tabelle anfängt, beträgt 3 mm. Es ist dies die höchste Annäherung, die beim menschlichen Auge möglich ist, und die auch nur von sehr wenigen Personen auf kurze Zeit vertragen wird. Für den Durchschnitt ist erst eine Annäherung des Hornhautscheitels auf 6 mm und demnach der Pupillenebene auf 9 mm an den Spiegel möglich; als bequeme Entfernung ist aber eine noch weitere zu wählen, nämlich 10 mm vom Hornhautscheitel, und demgemäß 13 mm von der Pupillenebene. Diese letztere habe ich auch für die Konstruktion meiner Apparate und für die Aufnahme der Photographien zugrunde gelegt.

Tabelle I.

Helligkeitsabnahme des reflexfreien Bildes nach den Seiten.

Entfernung zwischen Hornhaut und Spiegelkante	Abstand von der Mittellinie				
	0⁰	5⁰	10⁰	15⁰	20⁰
3 mm	25,12	20,94	16,75	12,63	8,58
4 „	25,12	20,26	15,42	10,70	6,23
5 „	25,12	19,56	14,03	8,85	4,10
6 „	25,12	18,88	12,78	7,08	2,26
7 „	25,12	18,19	11,50	5,43	0,80
8 „	25,12	17,51	10,25	3,51	0
9 „	25,12	16,83	9,03	2,54	0
10 „	25,12	16,16	7,85	1,37	0

Man sieht, daß für den in der Mitte gelegenen Punkt bei allen Entfernungen die Helligkeit dieselbe ist, daß dieselbe dagegen nach den

Seiten zu schnell abnimmt. Bei der denkbar größten Annäherung ist dieselbe bei einem um 20° von der Mittellinie entfernt liegenden Punkte (das sind $3^1/_3$ Papillenbreiten) nur noch $^1/_3$ derjenigen der Mittelsenkrechten, bei 15° Entfernung (= $2^1/_2$ Papillenbreiten) nur noch die Hälfte derjenigen in der Mittellinie. Für die noch recht nahe Entfernung des Hornhautscheitels vom Spiegel um 6 mm ist bereits in 10° Entfernung von der Mitte (= $1^1/_2$ Papillenbreiten) die halbe Helligkeit erreicht, bei 15° Entfernung kaum $^1/_3$ und bei 20° nur noch $^1/_{11}$. Bei der Entfernung, wie sie der Anordnung bei meinen Photographien zugrunde liegt, ist schon bei 10° Entfernung von der Mitte die Helligkeit kaum $^1/_3$, bei 15° nur noch $^1/_{18}$ und bei 20° ist das Gesichtsfeld schon ganz dunkel, weil dann der Grenzstrahl von der Spiegelkante aus schon jenseits des Pupillenrandes fällt. Es sei bemerkt, daß diesen Rechnungen ein Pupillendurchmesser von 8 mm, also maximale Mydriasis, zugrunde gelegt ist. Bei engerer Pupille wäre der Helligkeitsabfall ein noch rapiderer, bei weiterer Pupille, wie bei manchen Tieren, ein geringerer. So sieht man auf den beiden Bildern der ersten Tafel, welche von dem Auge einer Katze aufgenommen sind, daß die Helligkeit etwas weniger stark nach den Seiten abnimmt, weil hier die Pupille beträchtlich weiter als 8 mm war.

Dieses Prinzip, welches ich nunmehr ausführlich geschildert habe, lässt sich für die verschiedensten Linsenkombinationen im Beleuchtungs- und Beobachtungssystem anwenden; welches hier die geeignetsten sind, werde ich im nächsten Kapitel auseinandersetzen. Bevor ich dazu übergehe, will ich jedoch noch die Frage besprechen, ob Modifikationen des beschriebenen Prinzips möglich sind und welchen Unterschied dieselben in der Wirkung zeigen. Wir haben schon gesehen, daß statt des undurchsichtigen Beleuchtungsspiegels, der vor der halben Pupille steht, auch eine spiegelnde Glasplatte verwandt werden konnte, die die Blende im Beleuchtungsrohr auf der Pupille abbildet. Diese Abänderung erweist sich jedoch nicht als praktisch brauchbar, weil einerseits die Lichtstärke zu gering wird und andererseits störendes Nebenlicht entsteht. Wenn wir nun den Beleuchtungsspiegel vor der halben Pupille beibehalten, sind dann noch Modifikationen möglich? Es ist von manchen Seiten behauptet worden, daß es genügt, das Licht von dem Spiegel aus konvergent auf die eine Pupillenhälfte zu senden, um ein reflexfreies Bild zu erhalten. Das ist richtig, sobald im Beobachtungsrohr eine Abblendung entsprechend Figur 26 angebracht wird, fehlt diese aber, oder wendet man kein Beobachtungsrohr an, so kann natürlich nur die eine Hälfte des Bildes frei von Reflexen sein. Scheinbar gelingt also wenigstens für das Beleuchtungsrohr der Ersatz der halbmondförmigen Blende dadurch, daß

das Licht konvergent auf das Auge geworfen wird. Was heißt das nun aber, das Licht wird konvergent auf das Auge geworfen? Wir haben auf Seite 27 gesehen, daß die Beleuchtungsbündel, die zu den einzelnen Punkten des Hintergrundes gehen, immer aus parallelen Strahlen bestehen müssen, für das emmetropische Auge. Bei Myopie und Hypermetropie werden diese einzelnen Bündel divergent oder konvergent; aber da der Fernpunkt im Vergleich zu der Annäherung des Spiegels immer noch sehr weit liegt, so bestehen auch hier für alle wirklich vorkommenden Fälle die Beleuchtungsbündel aus annähernd parallelen Strahlen. Wir können also davon, daß das Auge mit konvergentem Lichte beleuchtet wird, nur in dem Sinne sprechen, daß die Gesamtheit der Strahlen einen konvergenten Kegel bildet, ohne Rücksicht auf die einzelnen Bündel zu nehmen, die zu jedem Punkte des Hintergrundes gelangen.

Dies ist aber ebenso auch bei dem besprochenen Prinzip der Fall, auch hier bildet die Gesamtheit der Strahlen, die von der Beleuchtungslinse C′ D′ (Figur 25—27) auf den Spiegel auftrifft, einen konvergenten Kegel. Dieser konvergente Kegel würde aber trotzdem, wenn keine Blende vor der Lichtquelle angewandt ist, wie dies aus Figur 27 hervorgeht, einen Teil der jenseits des Spiegels liegenden Pupillenhälfte beleuchten. Erst die Blende g h verhindert dies. Die Beleuchtung des Auges mit konvergentem Lichte hat also nur dann den beabsichtigten Zweck, wenn das Licht nur auf der einen Seite von g eintreten kann. Bringt man also nicht die halbmondförmige Blende an, wie dies bei meiner Anordnung geschieht, sondern setzt vor die Lichtquelle eine kreisförmige Oeffnung, so muß diese kreisförmige Oeffnung in den Raum g m (Figur 27) fallen. Es ist somit in Wahrheit nichts anderes geschehen, als daß statt der halben Pupillenhälfte nunmehr ein kleinerer Teil derselben zur Beleuchtung dient, nämlich derjenige, der dem Bilde dieser kreisförmigen Lichteintrittsöffnung entspricht. Eine solche Abänderung stellt also in der Tat kein neues Prinzip dar, sondern nur eine unvollkommene Anwendung der geometrischen Methode, indem die günstigste Beleuchtung hier nicht erreicht ist, sondern nur ein Teil der Pupillenhälfte zur Beleuchtung benutzt wird.

Wir wollen noch für einen solchen Fall, d. h. für die Anwendung einer kreisförmigen Blende im Beleuchtungssystem, die Helligkeit des Bildes an den verschiedenen Punkten betrachten. In Figur 31 sei die Pupille bei einer Beleuchtung nach dieser Methode in der Aufsicht gezeichnet, und zwar ebenso wie in Figur 28 in 3 verschiedenen Fällen. Figur 32 zeigt dieselben 3 Fälle in horizontalem Durchschnitt. In den beiden Figuren stellt 1 die Beleuchtung eines in der Projektion der

Spiegelkante gelegenen Punktes a_1 dar, 2 die eines links von der Mitte liegenden Punktes a_2, 3 die eines rechts von der Mitte gelegenen Punktes a_3.

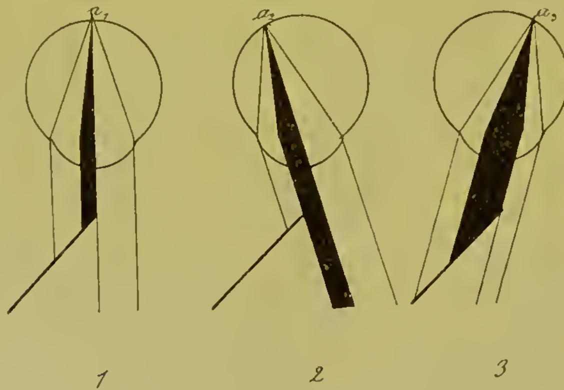
Wir sehen nun in diesem Falle, daß in 1 nicht mehr die volle Hälfte zur Beleuchtung dient, sondern nur die kleine kreisförmige Oeffnung. Hat diese beispielsweise einen Durchmesser von 2,6 mm, so finden wir die Helligkeit im Vergleich zu derjenigen bei Benutzung der vollen Pupillen-

Figur 31.



hälfte durch den Quotienten aus Inhalt dieses Kreises und Inhalt der halben erweiterten Pupillenöffnung. Das Verhältnis der Helligkeit ist also $= \frac{1,3^2\,\pi}{\frac{1}{2}.\ 4^2\,\pi} = \frac{1,69}{8} =$ annähernd $\frac{1}{5}$. Hier haben wir also nur den fünften Teil der Helligkeit wie bei einer halbmondförmigen Abblendung. Wir sehen also, wie ungünstig eine solche Modifikation wirkt. Durch

Figur 32.



kein Mittel sind wir bekanntlich imstande, eine Konzentration des Lichtes durch diese kleine Oeffnung herbeizuführen, denn höchstens kann jeder Punkt dieser kleinen Oeffnung, ebenso wie bei Benutzung der vollen Pupillenhälfte, die Leuchtkraft der Lichtquelle selbst haben. In Fall 1 dient die volle rechte Pupillenhälfte zur Beobachtung. In Fall 2 wird

nun das Verhalten etwas anders sein, wie bei der halbmondförmigen Abblendung, die in Figur 28 dargestellt ist. Dort trat ein Ausfall des Teiles b e_2 für die Beleuchtung ein. Dieser Ausfall wird sich jetzt in Figur 31 noch nicht bemerklich machen, solange e_2 noch nicht an die kreisförmige Oeffnung heranreicht. Es wird also nach der einen Seite des Bildes wenigstens bis zu einem gewissen Punkte kein Helligkeitsabfall eintreten. Im Fall 3 dagegen findet genau dasselbe statt wie in Figur 28. Hier wird ein Teil der Beobachtungshälfte abgedunkelt und dementsprechend wird die Helligkeitsabnahme auf der einen Seite des Bildes genau dieselbe bleiben wie bei halbmondförmiger Abblendung im Beleuchtungsrohre. Gewiß ließe sich auch dies verhindern, wenn von der halbmondförmigen Oeffnung im Beobachtungsrohr nur ein exeentrisch gelegener kreisförmiger Teil zur Durchsicht diente. Dann aber würde das Bild so dunkel werden, daß eine Beobachtung und noch viel weniger eine Photographie überhaupt nicht gelingt. Schon die Verwendung einer kreisförmigen Oeffnung im Beleuchtungsrohr muß gegenüber der halbmondförmigen Blende als ein großer Nachteil für die Beobachtung wie für die Photographie durch die Helligkeitsverminderung gelten, und es kann dagegen nicht ins Gewicht fallen, daß nun nach der einen Seite das Bild immer gleichmäßig beleuchtet bleibt, weil diese Beleuchtung dann eine gleichmäßig schlechte wird, und weil ja doch nach der anderen Seite des Bildes die Helligkeitsabnahme stattfindet.

III. Der stabile Augenspiegel mit reflexlosem Bilde.

Nachdem wir im vorigen Kapitel die Methode kennen gelernt haben, nach der die Reflexe beseitigt werden können, ist es nun notwendig, auf die Einzelheiten einzugehen, die bei der Konstruktion eines Instrumentes berücksichtigt werden müssen, welches in vorteilhafter Weise die jetzt möglich gewordene freie Wahl des optischen Systems ausnutzen soll. Zunächst fragt es sich, ob es besser ist, einen Spiegel oder ein total reflektierendes Prisma vor dem Auge des Beobachteten anzuwenden. Hier ist stets das total reflektierende Prisma von größerem Vorteil. Der Spiegel, welcher auf der Hinterseite den spiegelnden Belag hat, gibt stets doppelte Bilder: eins, das von dem eigentlichen Spiegelbelage, ein anderes, das von der vorderen Fläche des Glases reflektiert wird. Dies macht sich für die exakte Durchführung des beschriebenen Prinzips der

Abbildung der Blende im Beleuchtungsrohr sehr störend bemerkbar. Wenn man dies dadurch umgeht, daß man den Spiegel auf der Vorderseite versilbert, so fällt zwar dieses doppelte Bild fort, dafür wird aber der Spiegel wenig haltbar. Alle diese Fehler werden bei einem total reflektierenden Prisma vermieden. Dasselbe gibt ein einfaches Bild, ist unbegrenzt haltbar und, was ebenfalls von großem Nutzen ist, es endigt nach vorn in einer scharfen Kante, sodaß die Grenze zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsteil der Pupille von verschwindender Schmalheit wird. Bei Verwendung eines Spiegels ist dies stets eine breitere Zone und der dahinter gelegene Teil der Pupille geht ja ganz ungenutzt sowohl für Beleuchtung wie für Beobachtung verloren.

Wir hätten dann zu überlegen, welches der günstigste Winkel zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungssystem ist. In den schematischen Zeichnungen habe ich denselben zu 90° angenommen. Theoretisch aber kann derselbe jeden beliebigen Wert haben. Es sind jedoch folgende Grenzen für diesen Winkel gesetzt: Wird derselbe zu klein, so stoßen die Linsen des Beleuchtungs- und Beobachtungsrohres aneinander. Da man nun zur Erzielung eines großen Gesichtsfeldes einer gewissen Linsengröße bedarf, so kann der Winkel nicht ein zu kleiner werden. Wird der Winkel zu groß, etwa wie in den gezeichneten Figuren 90°, so hindert das Beleuchtungsrohr bei der Beobachtung desjenigen Auges, welches nach der Seite des Beobachtungsrohres zu liegt. Prinzipiell ist es ja gleichgültig, ob sich das Beobachtungssystem rechts oder links vom Beleuchtungssystem befindet. Für eine bestimmte Lage muß man sich aber entscheiden, damit der Bau der Augenspiegel in gleicher Weise stattfinden kann. Legt man zum Beispiel das Beleuchtungsrohr, vom Beobachter aus gesehen, auf die linke Seite, so läßt sich zwar das rechte Auge des Beobachteten gut untersuchen, auch wenn das Beleuchtungsrohr einen rechten Winkel mit dem Beobachtungsrohr bildet. Untersucht man dagegen das linke Auge, so stößt die Nase des Beobachteten an das Beleuchtungsrohr und hindert eine Annäherung des Auges. Als günstigsten Mittelwert habe ich einen Winkel von 45° zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung gefunden.

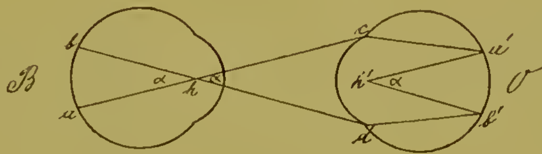
Das Gesichtsfeld und die Vergrößerung des ophthalmoskopischen Bildes.

Da wir durch die Beseitigung der Reflexe nunmehr imstande sind, das System für die Beobachtung des Augenhintergrundes beliebig zu wählen, können wir ganz nach denselben Grundsätzen vorgehen, wie sie für die Konstruktion anderer optischer Instrumente maßgebend sind. Da

der Augenhintergrund scheinbar im Unendlichen liegt, so muß das System zur Vereinigung von parallelen Strahlen eingerichtet, d. h. einem Fernrohr ähnlich gebaut sein, und da die Pupille des Beobachteten die Eintrittspupille ist, so muß dafür gesorgt werden, daß bei jeder Einstellung das Bild derselben auf der Pupille des Beobachters liegt. Wir wollen nun zunächst die Größe des Gesichtsfeldes bei der üblichen Untersuchung im aufrechten und im umgekehrten Bilde betrachten. Ebenso wie wir für die Feststellung der Beleuchtung am geeignetsten von dem zu beleuchtenden Auge selbst und nicht von der Lichtquelle ausgehen, so finden wir auch für die Größe des Gesichtsfeldes am leichtesten die mathematische Beziehung, wenn wir von dem Auge des Untersuchers ausgehen.

Wenn wir im aufrechten Bild untersuchen, d. h. ohne optische Hilfsmittel zu gebrauchen, so schließen diejenigen Strahlen, welche von dem Knotenpunkte k unseres Auges B (Figur 33) nach dem Rande c d der Pupille des beobachteten Auges O gezogen werden, einen bestimmten

Figur 33.

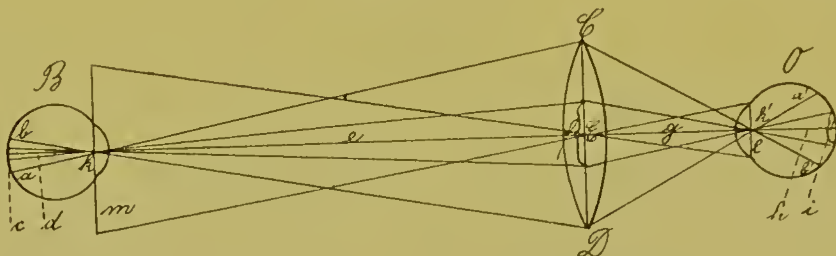


$\angle \alpha$ ein. Konstruieren wir auf dem Hintergrunde des untersuchten Auges diejenigen Punkte a′ und b′, welche von diesen Grenzstrahlen getroffen werden, so ist $\angle$ a′ k′ b′ ebenfalls $= \alpha$. Das Gesichtsfeld, das wir überblicken, wird in Wirklichkeit noch etwas größer sein. Für die Punkte a und b hat dasselbe aber etwa noch die halbe Helligkeit wie für die in der Mitte gelegenen Punkte, weil die aus unserem Auge austretenden Strahlencylinder dann vom Pupillarrande ungefähr halbiert werden. Wenn wir uns damit begnügen, auch für alle folgenden Fälle das Gesichtsfeld immer nur bis zu dem Punkte zu berücksichtigen, wo die Hauptstrahlen unseres Auges den Rand der begrenzenden Oeffnung treffen, so können wir eine sehr einfache Formel für das Gesichtsfeld ableiten. Es ist in diesem Falle $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\text{c k}'}{\text{k k}'}$. Da nun die erweiterte Pupille höchstens 8 mm Durchmesser hat, die Entfernung der beiden Augen bei der Untersuchung im aufrechten Bilde wegen des dazwischen gehaltenen Beleuchtungsspiegels niemals kleiner als 50 mm wird, so haben wir im

günstigsten Falle $\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} = \frac{4}{50}$ oder $\alpha = 9^0$. In Wirklichkeit wird aber meistens das Gesichtsfeld unter diesem Werte bleiben, weil es nicht in allen Teilen gleichzeitig beleuchtet ist.

Bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde wird meistenteils eine Bikonvexlinse C D (Figur 34) verwandt, welche 75 mm Brennweite hat und so weit vom Auge B entfernt ist, daß das Luftbild des Hintergrundes etwa 225 mm vor B liegt und von diesem bequem ohne große Akkommodationsanstrengung betrachtet werden kann. Es wird dann die Entfernung zwischen der Konvexlinse C D und dem Auge B 300 mm betragen. Damit nun die Iris von O nicht als Gesichtsfeldblende wirkt, ist es notwendig, daß sie sich so weit vor C D befindet, daß von ihr ein scharfes Bild auf der 300 mm entfernten Iris von B entsteht. Da 300 mm = 4 f ist, so muß k′ E = $\frac{4}{3}$ f = 100 mm sein. Die am meisten gebrauchte Konvexlinse hat einen Durchmesser von 30 mm.

Figur 34.



Wir finden also analog dem vorigen Beispiel tg ∠ C k E = $\frac{15}{300} = \frac{1}{20}$, ∠ C k D = 6° und ∠ C k′ D etwa = 18°. Das Gesichtsfeld umfaßt vom Beobachter aus im umgekehrten Bilde nur 6°, vom Hintergrunde werden aber 18° übersehen.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde ist das Netzhautbild im Auge des Beobachters a b (Figur 33) genau so groß wie das Objekt, das abgebildet wird, a′ b′ im Auge des Untersuchten, vorausgesetzt, daß beide Augen emmetropisch sind. Beide Strecken erscheinen vom Knotenpunkte eines jeden Auges aus unter dem ∠ α, denn es ist ∠ b k a = ∠ c k d, und da c k parallel a′ k′, sowie d k parallel b′ k′ ist, auch ∠ a′ k′ b′ = ∠ c k d = ∠ b k a. Wenn man die Vergrößerung auf eine Entfernung von 240 mm bezieht, d. h. das Bild a b mit demjenigen vergleicht, welches von a′ b′ entstehen würde, wenn diese Fläche sich 240 mm vor dem Auge B befände, aber aus dem Auge O herausgenommen, so würde sich das Bild zu a b verhalten, wie die Brenn-

weite des Auges O zu 240 mm, d. h. wie 15 : 240 = 1 : 16. Es ergibt sich also eine 16 fache Linearvergrößerung für das aufrechte Bild. Dieselbe Vergrößerung entsteht natürlich bei jeder anderen Kombination, bei welcher die Winkel, unter dem Bild und Objekt von dem Knotenpunkt des zugehörigen Auges erscheinen, nicht verändert werden.

Die Vergrößerung im umgekehrten Bilde berechnen wir am besten so, daß wir die Vergrößerung im aufrechten Bilde als Einheit voraussetzen. Wir wollen nun ein Stück i auf dem Hintergrunde von O so klein wählen, daß dasselbe als gerade Linie betrachtet werden kann, und berechnen, wie groß sich dieses auf dem Hintergrunde von B abbildet. Den Strahlengang findet man, indem man von den Rändern des Stückes i die Hauptstrahlen nach dem Knotenpunkte des Auges O, k', welcher um die Strecke h entfernt sein soll, zieht, dieselben bis zu C D verlängert, wo sie miteinander ein mit f bezeichnetes Stück einschließen. Diese Strecke f wird wieder mit dem Knotenpunkt von B, k verbunden, welcher um die Strecke e von C D entfernt ist. Dann werden die beiden begrenzenden Strahlen verlängert, bis sie auf dem Hintergrunde von B die Strecke c einschließen. c soll vom Knotenpunkte k des Auges B um die Strecke d entfernt sein.

Dann ist dasjenige Dreieck, welches c als Grundlinie und d als Höhe hat, ähnlich demjenigen, welches f als Grundlinie und e als Höhe hat. Ebenso ist auf der anderen Seite das Dreieck mit der Grundlinie i und der Höhe h ähnlich dem Dreieck mit der Grundlinie f und der Höhe g. Wir können also die Proportionen aufstellen:

$$c : d = f : e$$

daraus folgt: $c\,e = d\,f$

und: $i : h = f : g$

daraus folgt: $i\,g = h\,f$

Da nun $h = d$ ist, also auch $h\,f = d\,f$, so ist auch:

$$c\,e = i\,g \text{ oder:}$$

$$c : i = g : e.$$

Es verhalten sich also die Netzhautbilder umgekehrt wie die Entfernungen von der Konvexlinse. Konstruiert man das Bild der Pupille von O, l auf der Pupille von B, wo es die Größe m hat, so ist wiederum das Dreieck mit der Grundlinie m und der Höhe e ähnlich demjenigen mit der Grundlinie l und der Höhe g. Wir haben also auch: $l : m = g : e$. Statt also zu sagen: es verhalten sich die Netzhautbilder umgekehrt wie die Entfernungen von der Konvexlinse, können wir auch sagen: die Netzhautbilder verhalten sich umgekehrt wie die

Pupillenbilder. Da hier die Entfernungen von der Konvexlinse sich = 1 : 3 verhalten, so hat das umgekehrte Bild $^1/_3$ der Vergrößerung des aufrechten, also $5\,^1/_3$ fache Vergrößerung. Man sieht aber, daß die Größe sehr wechselt, je nach der Stellung und der Brennweite der Konvexlinse. Nehmen wir beispielsweise eine Konvexlinse von 20 D = 5 cm Brennweite und halten dieselbe 30 cm von unserem Auge entfernt, so sind dies 6 f, also muß das Auge des Beobachteten eine Entfernung von dieser Linse haben, welche $= ^6/_5$ f ist. Die Netzhautbilder verhalten sich dann = 1 : 5. Man erhält somit nur $^1/_5$ der Vergrößerung des aufrechten Bildes = $3\,^1/_5$ fache Vergrößerung. Bei dieser Berechnung ist gar keine Rücksicht auf die Akkommodation des Beobachters B genommen. Durch diese wird auch in der Tat die Größe des Netzhautbildes auf B nur ganz unbedeutend geändert, dagegen ist das subjektive Gefühl der Vergrößerung ein stärkeres, je schwächer die Akkommodationsanspannung wird.

Die Vergrößerung des aufrechten Bildes, eine etwa 16 fache Linearvergrösserung, ist diejenige, welche für das in Betracht kommende Objekt die angemessenste ist. Sie zeigt bereits eine große Fülle von Details, aber das Bild ist noch genügend scharf, um nicht übervergrößert zu erscheinen. Steigert man die Vergrößerung weiter, was sich ja durch optische Systeme leicht erreichen läßt, so hat man denselben Erfolg, als wenn man zu einem schwachen Objektiv ein zu starkes Okular fügt. Die Vergrößerung ist eine leere, es werden nicht mehr neue Einzelheiten erkannt, sondern das ganze Bild erscheint grob und verwaschen. Um also die günstigste Vergrößerung zu erzeugen, haben wir bei der Wahl des Linsensystems einfach darauf zu achten, daß sich die Pupille des Beobachteten in gleicher Größe auf der Pupille des Beobachters abbildet.

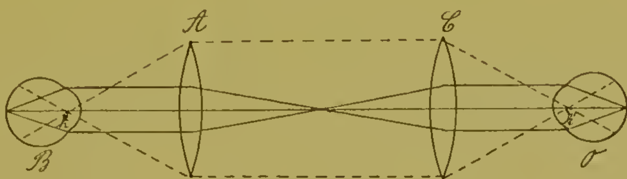
Um dies zunächst mit Zuhilfenahme nur einer Konvexlinse zu erreichen, muß dieselbe gerade in die Mitte zwischen die beiden Augen gestellt werden, und zwar von jedem um das doppelte ihrer Brennweite entfernt. Die Brennweite muß dann auch genügend groß gewählt werden, damit der Beobachter das Bild, welches um eine Brennweite von ihm entfernt liegt, ohne besondere Akkommodations-Anstrengung deutlich sehen kann, d. h. also etwa 25 cm sein. Das Gesichtsfeld wird nun bei dieser Anordnung, wie es in der Figur 34 geschehen ist, durch den Durchmesser der Konvexlinse, so wie ihre Entfernung bestimmt werden können.

$$\text{Es ist dann: } \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\text{Halber Durchmesser der Konvexlinse.}}{\text{Entfernung der Konvexlinse vom Auge.}}$$

Da nun $\frac{\text{Durchmessser}}{\text{Brennweite}}$ als Apertur der Linse bezeichnet wird, so ist: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4}$ Apertur. Die größte Apertur, welche einer Linse bei solcher Anordnung gegeben werden kann, ohne das Bild zu sehr zu verschlechtern, ist gleich $\frac{1}{2}$, also erhalten wir: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{8}$. $\alpha = 14^0 15'$. Wir würden also bei einer solchen Anordnung schon eine Vergrößerung des Gesichtsfeldes gegenüber dem aufrechten Bilde, aber bei derselben Vergrößerung erreichen.

Bedeutend bessere Resultate erhält man, wenn man zwei gleiche Bikonvexlinsen anwendet, in deren Brennpunkt ein jedes Auge steht und die von einander um das doppelte ihrer Brennweiten entfernt sind. Eine solche Anordnung ist in Figur 35 dargestellt. Hier bedeutet B

Figur 35.

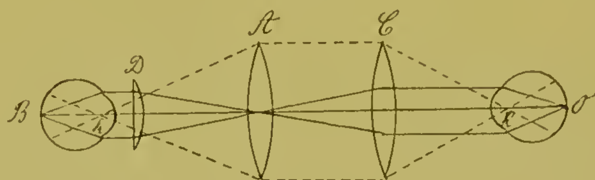


ebenfalls wieder das Auge des Beobachters, O das des Beobachteten. A und C sind zwei gleiche Bikonvexlinsen. Der Knotenpunkt k steht im Brennpunkt von A, k' steht im Brennpunkt von C. Die ausgezogenen Linien stellen den Strahlengang eines Netzhautpunktes dar, die punktierten Linien den Strahlengang eines Pupillenpunktes, oder, was dasselbe ist, die Größe des Gesichtsfeldes. Da die Pupillen im Brennpunkt der Linse stehen, so werden die von k und k' ausgehenden Strahlen zwischen den beiden Linsen parallel. Es hat also die Entfernung der Linsen von einander auf das Gesichtsfeld gar keinen Einfluß. Dies ist bei Refraktionsanomalien von Wichtigkeit. Ist das Auge O nicht emmetropisch, sondern myopisch oder hypermetropisch, so würde das Netzhautbild entweder näher an C heranrücken, oder sich weiter von C entfernen. A muss aber von diesem Netzhautbilde stets die gleiche Entfernung haben, damit der Beobachter stets ohne Akkommodationsanstrengung das Bild wahrnehmen kann. Es muß also A gegen C verschoben werden können. Bei solchen Verschiebungen darf sich aber nicht das Gesichtsfeld verkleinern, und dies ist bei der abgebildeten Linsenkombination durch den parallelen Verlauf der Pupillen-

strahlen zwischen den beiden Linsen erreicht. Die Vergrößerung ist hier ebenfalls die des aufrechten Bildes, da sich ja die Pupille von O in gleicher Größe auf der Pupille von B abbildet. Das Gesichtsfeld wird aber gleich der vollen Apertur der Konvexlinsen.

Diese Linsenanordnung hat nun noch den Nachteil, daß das Bild nicht achromatisch erscheint, ferner stark gewölbt ist, sodaß bei derselben Einstellung niemals Mitte und Rand gleichzeitig scharf werden. Dies wird vermieden, wenn man die beiden Linsen A und C so weit einander nähert, daß ihre Entfernung gleich der einfachen Brennweite ist. Der Beobachter muß dann vor seinem Auge noch ein Plankonvexglas ebenfalls von der gleichen Brennweite anbringen, um das Bild in Akkommodationsruhe scharf zu sehen. In der Figur 36 ist diese Anordnung dargestellt. Auch hier sind die Bezeichnungen dieselben wie in der vorigen Figur. Hinzugekommen ist die Plankonvexlinse D vor dem Auge B. Die aus-

Figur 36.



gezogenen Linien stellen den Strahlengang für einen Netzhautpunkt dar, die punktierten denjenigen für einen Pupillenpunkt oder das Gesichtsfeld. Auf letzteres hat die Linse D keinen Einfluß, weil sie dicht vor der Pupille von B steht, wohl aber auf das Bündel, das vom Netzhautpunkte von O ausgeht, da dessen Vereinigungspunkt im Brennpunkte von D liegt und dasselbe nun als paralleles Strahlenbündel in das Auge B eintritt. Das Gesichtsfeld ist ebenso wie im vorigen Falle gleich der vollen Apertur der Konvexlinsen. Die Apertur kann bei dieser Anordnung ohne Schaden für das Bild $= \frac{2}{3}$ gewählt werden. Wir haben also: $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{3}$. $\alpha = 36^{\circ}\, 32'$. Die Vergrößerung ist wieder die des aufrechten Bildes, da die Pupille von O in natürlicher Größe auf der Pupille von B abgebildet wird.

Dieses System genügt allen Anforderungen, welche für die Abbildung des Augenhintergrundes zu stellen sind. Die Vergrößerung ist die stärkste, welche mit Nutzen für den Augenhintergrund verwendet wird. Das Gesichtsfeld ist $= 37^{\circ}$, also es umfaßt 4 mal so viel vom Hinter-

grunde des Beobachteten, als bei der gewöhnlichen Betrachtung im umgekehrten Bilde, und erzeugt auf dem Hintergrunde des Beobachters eine 36 mal so große Bildfläche. Gegenüber dem aufrechten Bilde ist die übersehbare Fläche die 16 fache. Das System ist genügend achromatisch, um die Anwendung besonderer achromatischer Linsen entbehrlich zu machen. Ferner wird der stark gewölbte Augenhintergrund von dem System annähernd als Ebene abgebildet. Es läßt sich den verschiedenen Akkommodationszuständen leicht dadurch anpassen, daß die Entfernung zwischen A und C variiert wird. Da dies in der praktischen Ausführung nur innerhalb gewisser Grenzen geschehen kann — und zwar läßt man am besten die Distanz zwischen den beiden Linsen von $^1/_2$ f bis $1^1/_2$ f sich ändern —, so muß für stärkere Refraktionsanomalien das Plankonvexglas D entweder entfernt oder gegen ein stärkeres Glas vertauscht werden.

Da wir gesehen hatten, daß der Strahlengang im Beleuchtungssystem genau derselbe wie im Beobachtungssystem ist, so wird man zweckmäßig auch das Beleuchtungssystem genau so wie das Beobachtungssystem gestalten, natürlich ohne die Verschieblichkeit für die verschiedenen Refraktionszustände.

Die Helligkeit des ophthalmoskopischen Bildes.

Für die Helligkeitsberechnung stellen wir zweckmäßig folgende Gesetze auf, die sich aus anderen bekannten Gesetzen ableiten lassen:

Ein Punkt des Augenhintergrundes des Beobachteten kann nur dann vom Beobachter gesehen werden, wenn ein Teil der Strahlen, die er im leuchtenden Zustande aussenden würde, zur Lichtquelle, ein Teil zur Pupille des Beobachters gelangt[1] . . . . 2)

Ein Punkt des Augenhintergrundes des Beobachteten ist dann maximal beleuchtet, wenn alle Strahlen, die er im leuchtenden Zustande aussenden würde, auf Teile der Lichtflamme auftreffen; die Beleuchtung ist dann proportional der Größe der Pupille . . . . 3)

Der Augenhintergrund des Beobachteten wird dann mit maximaler Helligkeit vom Beobachter gesehen, wenn alle Strahlen, die ein Punkt des Augenhintergrundes des Beobachters im leuchtenden Zustande aussenden würde, auf die Pupille des Beobachteten auftreffen. Die Helligkeit ist dann proportional der Größe der Pupille des Beobachters . . . . . 4)

1) Vergl.: Ein neuer stabiler Augenspiegel mit reflexlosem Bilde. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. der Sinnesorgane. Bd. XX. S. 294—316.

Der Satz 4) ergibt sich aus dem Satz 3), indem an Stelle der Lichtflamme der Augenhintergrund des Beobachteten, an Stelle des Beobachteten der Beobachter gesetzt wird. Unter „maximal" ist hier immer zu verstehen die größtmöglichste Beleuchtung bei gegebener Pupillengröße und gegebener Helligkeit der Lichtquelle resp. des beleuchteten Objekts.

Die Figur 37 stellt ein Beispiel für den Satz 3) dar. Wenn A ein Punkt im Hintergrunde von O ist und vor dem Auge sich ein beliebiges System von Linsen befindet, beispielsweise eine Konkavlinse B und zwei Konvexlinsen C und D, so konstruiert man sich den Verlauf des Strahlenbündels von A aus. Dasselbe verläuft parallel bis B, wird divergent bis C, möge dann parallel werden bis D, konvergent, bis es sich im Punkte i vereinigt, und dann wieder divergent. Wenn dann der Punkt A maximal beleuchtet werden soll, so muß die Lichtquelle an der Stelle 1

Figur 37.

die Größe a b haben, damit der ganze Strahlencylinder auf dieselbe aufrifft. Denkt man sich die Linsen B, C und D fort, so würde der Strahlencylinder dauernd von der gleichen Größe bleiben, und eine Lichtquelle von der Größe a b würde stets die maximale Beleuchtung auf Punkt A hervorbringen, gleichgiltig wie weit sich dieselbe vom Auge O entfernt befindet. Dies ist auch in der Tat der Fall, nur das Feld, welches im Augenhintergrunde beleuchtet wird, wird ein immer kleineres, die Intensität in der Mitte desselben bleibt immer gleich, solange es sich wenigstens um endliche Entfernungen handelt. Bringt man nun aber ein Konkavglas B in diesen Cylinder, welches ihn in einen divergenten Kegel verwandelt, so muß jetzt eine Lichtquelle den Durchschnitt dieses Kegels ausfüllen, um noch die gleiche Beleuchtung auf Punkt A hervorzubringen, sie muß also an der Stelle 2 bereits die Größe c d haben. An der Stelle 3 muß sie die Größe e f besitzen, an der Stelle 4 die Größe g h, an der Stelle 5, wo die Spitze des Strahlenkegels liegt, genügt ein einziger Punkt der Lichtquelle, um die maximale Beleuchtung hervorzubringen. Befindet sich an irgend einer Stelle ein Diaphragma, wie z. B. an Stelle 6 l m darstellen soll, und hinter diesem Diaphragma

in o p erst die Lichtquelle, so wird die Beleuchtung stets nur noch ein Teil der maximalen sein und zwar, wenn die Lichtquelle selbst die ganze Oeffnung l m ausfüllt, verhält sich die Lichtstärke zur maximalen wie der Flächeninhalt des Kreises mit dem Durchmesser l m zum Flächeninhalt des Kreises mit dem Durchmesser k n. Denkt man sich statt des Diaphragmas in 6 einen Spiegel, der in l m eine Oeffnung hätte, und bringt die Lichtquelle in den Gang des durch den Spiegel reflektierten Strahlenbündels, so würde umgekehrt die äußere Fläche reflektieren, die mittlere l m dagegen nicht. Es würde sich dann, wenn die Lichtquelle groß genug ist, um den ganzen Kegel auszufüllen, die auf A erreichte Lichtstärke zur maximalen verhalten, wie die ringförmige Spiegelzone zu dem Flächeninhalte des ganzen Kreises mit dem Durchmesser k n.

Nach diesen Gesetzen wird es uns nun leicht sein, für die verschiedenen Kombinationen der Augenspiegeluntersuchung die Lichtstärke zu berechnen. Wir müssen uns aber vergegenwärtigen, daß wir dabei immer von dem Lichtverlust absehen, welcher durch Absorption in den Linsen oder Reflexion an den Spiegeln resp. den Linsenflächen eintritt. Da dieser Lichtverlust aber verhältnismäßig gering ist, und wir ihn leicht durch eine größere Intensität der Lichtquelle ausgleichen können, so dürfen wir ihn außer Betracht lassen. Ferner gelten die ganzen Berechnungen nur immer für eine Lichtquelle von gleichbleibender Flächenintensität. Die absolute Intensität, d. h. das Produkt aus Flächeninhalt der Lichtquelle und spezifischer Intensität ist dabei gleichgiltig.

Da die Helligkeit eines gesehenen Punktes sowohl proportional ist dem Lichte, das auf denselben fällt, als auch proportional der Lichtmenge, die wir von dem so beleuchteten Punkte empfangen, so können wir sie als ein Produkt dieser beiden Größen darstellen. Zunächst wollen wir die erste, schon von Helmholtz berechnete Aufgabe wiederholen. Welches ist die günstigste Intensität für einen Punkt des Hintergrundes? Nennt man das Licht, welches in das Auge hineingesandt wird, a, das aus dem Auge zurücktretende b, so ist die Summe immer dieselbe, a + b, gleichgiltig, ob man die Strahlenbündel räumlich teilt, wie dies durch die Metallspiegelbeleuchtung geschieht, oder jeden einzelnen Strahl spaltet, wie bei der Beleuchtung mittels Glasplatte oder mittels Nicol'schen Prismas. Der Effekt ist durch das Produkt a b gegeben. Es soll also a b ein Maximum sein, während a + b konstant bleibt. Zu verstehen ist diese Aufgabe natürlich bei als bekannt vorausgesetzter Pupillengröße. Setzen wir die maximale Lichtmenge, welche in das Auge eintreten würde, wenn der ganze Strahlencylinder zur Be-

leuchtung benutzt würde, = 1, und ebenso die maximale Lichtmenge, welche aus dem Auge austreten würde, wenn ebenfalls der ganze Strahlencylinder zum Austritt der Strahlen benutzt werden könnte, auch = 1, indem wir uns hierzu irgend eine Benennung denken, welche wir in der Berechnung fortlassen können, so wäre die höchste denkbare Wirkung die, daß der ganze Weg des Strahlencylinders zur Beleuchtung und der ganze Weg zum Zurückkehren der Strahlen benutzt würde. Der Punkt würde dann mit der Helligkeit 1 erscheinen. Nun muß in Wahrheit $\frac{1}{x}$ des Cylinders zur Beleuchtung benutzt werden, während $\frac{x-1}{x}$ zum Rücktritt der Strahlen dienen. Das Produkt ist also: $y = \frac{x-1}{x^2}$. Dieses soll ein Maximum werden. Wir haben dann:

$$y = \frac{x-1}{x^2}$$

$$dy = \frac{(x-1)\,2x\,dx - x^2 dx}{x^4}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(x-1)\,2x - x^2}{x^4} = 0$$

$$x^2 - 2x = 0$$

$$x = 2.$$

Der günstigste Beleuchtungswert ist also dann erreicht, wenn die Hälfte des Strahlencylinders zum Eintritt, die Hälfte zum Austritt des Lichtes dient. Die Intensität ist dann $1/2 \times 1/2 = 1/4$ des Wertes, den wir erhielten, wenn der ganze Strahlencylinder sowohl zum Lichteintritt wie zum Lichtaustritt dienen könnte.

Wir können nun die Menge des einfallenden wie des ausfallenden Lichtes durch die Größe der wirksamen Pupillenfläche sowohl des Beobachteten als des Beobachters in qmm ausdrücken und durch das Produkt beider den wahren Effekt bezeichnen. Die Größe der Pupille des Beobachteten ist das Maß für die Beleuchtung der Netzhaut, diejenige des Beobachters für die Helligkeit, mit der die Netzhaut gesehen wird. Das Produkt hat die Benennung mm^4, welche wir als bedeutungslos fortfallen lassen können. Berechnen wir zunächst die Helligkeit für die gewöhnliche Anordnung der Untersuchung im aufrechten Bilde. Benutzt man dazu einen Planspiegel, so wird der vom Auge kommende Strahlencylinder, ohne seinen Querschnitt zu ändern, zu der Lichtquelle reflektiert. Da die Flamme gewöhnlich größer wie die Pupille sein wird, so trifft er vollständig auf Teile der Flamme auf. Der Punkt wäre

also maximal beleuchtet, wenn nicht der Spiegel ein Diaphragma bildete, da ja die Oeffnung, durch die man hindurchsieht, nicht reflektiert. Hat die Spiegelöffnung 4 mm Durchmesser, so nimmt sie den vierten Teil des Flächeninhaltes der auf 8 mm erweiterten Pupille ein. Die Beleuchtung ist also $^3/_4$ der maximalen $= {}^3/_4 \times 16\,\pi = 12\,\pi$. Alle Strahlen-Cylinder, die vom Beobachter durch das Spiegelloch hindurchgehen, treffen ungehindert auf die Pupille des Untersuchten auf. Der Hintergrund wird also vom Beobachter mit maximaler Helligkeit gesehen. Diese Helligkeit können wir durch die Spiegelöffnung als der für den Beobachter wirksamen Pupillenöffnung ausdrücken, sie ist $= 4\,\pi$. Als Produkt haben wir für die Helligkeit des aufrechten Bildes $4\pi \times 12\pi = 48\,\pi^2$. Benutzt man einen Hohlspiegel zur Untersuchung im aufrechten Bilde, so wird der Strahlencylinder in einen Kegel verwandelt. Dieser kann auch vollständig auf Teile der Flamme auftreffen. Ist aber die Brennweite sehr kurz, so kann der Kegel in der Gegend der Lichtfläche schon so stark divergieren, daß er teilweise neben derselben vorbeigeht. Dann ist die Beleuchtung eine weniger günstige. Der Planspiegel gibt also in allen Fällen für das aufrechte Bild eine günstige Beleuchtung, der Hohlspiegel nur unter gewissen Umständen. Es ist also falsch, den Planspiegel ohne weiteres als lichtschwachen, den Hohlspiegel als lichtstarken zu bezeichnen. Für die Untersuchung im aufrechten Bilde ist der Planspiegel oft der lichtstärkere.

Für die Untersuchung im umgekehrten Bilde wollen wir wieder dieselben Konstanten wie zur Berechnung des Gesichtsfeldes und der Vergrößerung zu Grunde legen: Der Durchmesser der erweiterten Pupille sei = 8 mm, die Entfernung des Beobachteten von der Konvexlinse $= {}^4/_3\,f = 100$ mm, diejenige des Untersuchers von der Konvexlinse $= 4\,f = 300$ mm, der Durchmesser der Konvexlinse betrage 30 mm, der Durchmesser der Oeffnung im Hohlspiegel 4 mm, die Brennweite desselben 150 mm. Konstruiert man dann das Strahlenbündel, welches von einem Punkte des Hintergrundes des Beobachteten ausgeht, so hat es in der Spiegelebene einen Durchmesser von 24 mm, entsprechend der Vergrößerung der Pupille auf das 3 fache. Von hier nimmt der Querschnitt nach der Lichtquelle hin durch die Wirkung des Hohlspiegels wieder ab, sodaß es vollständig auf Teile der Lichtflamme auftrifft. Das Diaphragma (die Spiegelöffnung) nimmt hier nur $^1/_{36}$ des Bündelquerschnitts ein, die Helligkeit ist also $^{35}/_{36}$ der maximalen, also $= {}^{35}/_{36} \times 16\,\pi = 15{,}6\,\pi$. Das Strahlenbündel, das von einem Punkte des Augenhintergrundes des Beobachtenden herkommt, hat wieder 4 mm Durchmesser, in der Ebene der Pupille des Beobachteten $^4/_3$ mm Durch-

messer, trifft also vollständig auf dieselbe auf. Es wird der Hintergrund also mit der maximalen Helligkeit 4π gesehen. Als Produkt ergibt sich $15{,}6\,\pi \times 4\,\pi = 62{,}4\,\pi^2$ als Helligkeit des umgekehrten Bildes, also eine fast $^4/_3$ mal so große wie im aufrechten Bilde.

Bei Benutzung des oben geschilderten, aus 3 Linsen bestehenden Systems, kombiniert mit der geometrischen Methode zur Beseitigung der Reflexe, wird für einen in der Mitte gelegenen Punkt die volle Hälfte der Pupille zur Beleuchtung, die andere Hälfte zur Beobachtung benutzt. Die Helligkeit ist also $= 64\,\pi^2$, sie entspricht also dem Maximum, welches oben berechnet worden ist. Die Abnahme nach den beiden Seiten hin, welche sich nicht vermeiden läßt, habe ich oben schon in einer Tabelle Seite 47 zusammengestellt.

Wir wollen zum Schluß noch, um die Theorie klarer zu stellen, die Helligkeit für das umgekehrte Bild berechnen, wenn wir einen Hohlspiegel mit größerer Durchbohrung, also von etwa 8 mm Durchmesser, zur Untersuchung verwenden. Die verschiedenen Entfernungen und Brennweiten sollen wieder ebenso sein, wie dies für die Spiegelöffnung von 4 mm Weite zugrunde gelegt war. Wenn der von einem Punkt des beobachteten Hintergrundes ausgehende Kegel in der Spiegelebene 24 mm Durchmesser hat, so wird jetzt $^1/_9$ von der Beleuchtungsfläche fortgenommen, die Beleuchtung ist also $= {}^8/_9 \times 16\,\pi = 14{,}2\,\pi$. Wenn die Pupille des Beobachters sich auf 8 mm erweitert, so ist jetzt die maximale Helligkeit, mit der der Beobachter den Hintergrund sieht, $= 16\,\pi$. Als Produkt ergibt sich: $227{,}2\,\pi^2$.

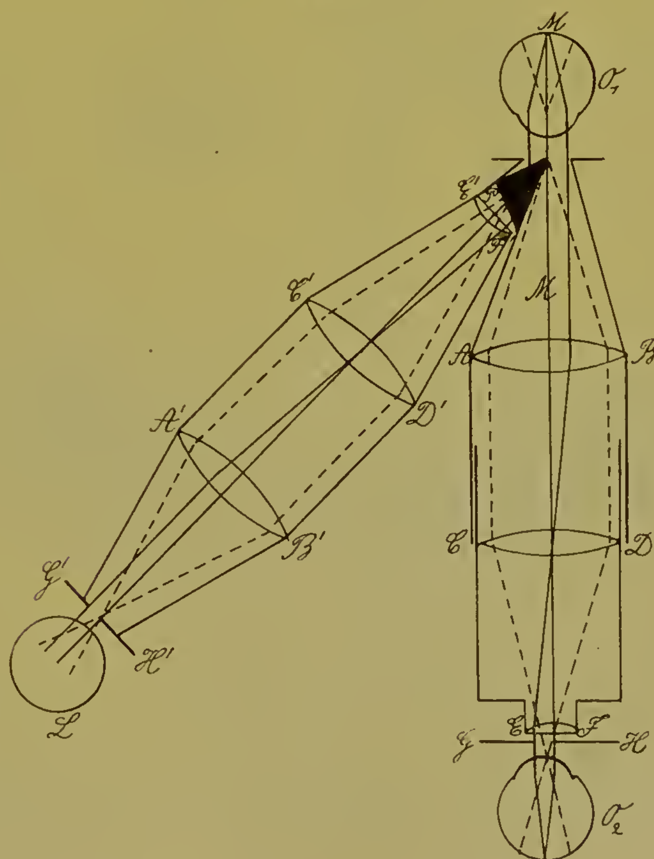
Die Helligkeit wird also in diesem Falle noch fast 4 mal so groß, als sie unter Verwendung der halben Pupille zur Beleuchtung, der halben zur Beobachtung ist, wo sie $= 64\,\pi^2$ wurde. Dieser Fall sollte doch aber das Maximum darstellen. Der scheinbare Widerspruch klärt sich so auf, daß wir es in beiden Fällen mit verschieden starken Vergrößerungen zu tun haben. Auch beim umgekehrten Bilde, d. h. in $^1/_3$ der Vergrößerung des aufrechten, ist die günstigste Wirkung dann erreicht, wenn die Hälfte der Pupille zum Lichteintritt, die Hälfte zum Lichtaustritt dient. Diese zum Lichtaustritt dienende Hälfte nimmt in der Ebene der Pupille des Beobachters einen Halbkreis von 12 mm Radius ein. Um diesen aufzufangen, genügt die Pupille des Beobachters nicht mehr an Größe. Wenn sie dies imstande wäre, wie es etwa eintritt, wenn man das Auge durch ein photographisches Objektiv ersetzt, so würde die Helligkeit eine noch größere werden. Die Beleuchtungsstärke wäre dann $^1/_2 \times 16\,\pi = 8\,\pi$, die Beobachtungshelligkeit dagegen $= {}^1/_2 \times 144\,\pi = 72\,\pi$. Das Produkt ist $= 576\,\pi^2$, also 9 mal so

groß, wie die höchst erreichbare Lichtstärke für die Vergrößerung des aufrechten Bildes. Dies muß sich auch so verhalten, da ja das aufrechte Bild in der Fläche 9 mal so groß ist. Während wir aber bei der Vergrößerung des aufrechten Bildes imstande sind, auch bei der subjektiven Beobachtung die größtmöglichste Lichtstärke zu erhalten, ist dies bei der Vergrößerung des umgekehrten Bildes nicht mehr der Fall, hier müßte zur vollen Ausnutzung der Helligkeit ein photographisches Objektiv mit größerer Oeffnung als die menschliche Pupille angewandt werden.

Beschreibung des Apparates[1]).

Ich käme nun dazu, den Apparat, wie er sich aus den theoretisch abgeleiteten Forderungen ergibt, in seiner Konstruktion zu beschreiben. Figur 38 stellt eine Durchschnittszeichnung in der Horizontalebene vor.

Figur 38.



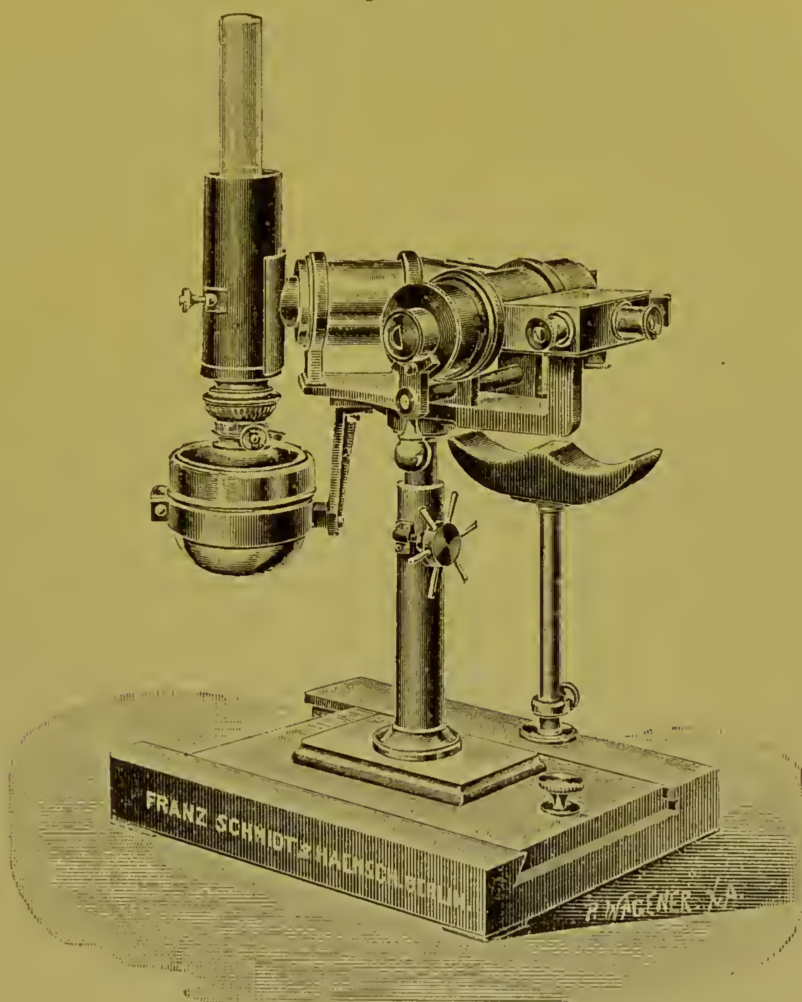
1) Derselbe wird von der Firma Franz Schmidt & Haensch zu Berlin angefertigt.

In derselben sind der größeren Deutlichkeit wegen die Augen, sowie das Prisma verhältnismäßig zu groß, die Entfernungen zwischen den Linsen zu klein dargestellt. Vor dem Auge O_1 befindet sich das total reflektierende Prisma P in einer solchen Stellung, daß die aus dem Beleuchtungsrohre austretenden Strahlen so reflektiert werden, als ob sie aus der Richtung der optischen Achse des Auges M M herkämen. An das Prisma schließt sich im Beleuchtungsrohr eine Plankonvexlinse E′ F′ an mit einer Brennweite von 75 mm, darauf in 75 mm Entfernung eine Bikonvexlinse C′ D′ und wieder in 75 mm Entfernung eine zweite Bikonvexlinse A′ B′, beide von derselben Brennweite von 75 mm und einem Durchmesser von 50 mm. G′ H′ stellt die Blende dar. Es genügte zur Wahrung des geometrischen Prinzips, daß die Blende nur aus einer mit einer geraden Kante abschließenden Fläche bestände. Da es aber gut ist, wenn kein überflüssiges Licht auf das Auge O_1 tritt, sondern nur dasjenige Licht, welches durch die halbe Pupille eintreten kann, so wird am besten die Oeffnung in der Blende auch nur die Größe und Form der halben erweiterten Pupille haben, also einen Halbkreis darstellen von 4 mm Radius. Unmittelbar vor dieser Blende G′ H′ befindet sich die Lichtquelle L, zu der entweder eine kleine Petroleumlampe dienen kann oder eine elektrische Glühlampe. Im letzteren Falle muß aber dieselbe gut mattiert sein, damit sich die Zeichnung des Kohlenfadens nicht auf dem Hintergrunde von O_1 markiert. Bei der gewöhnlichen Form der elektrischen Glühlampen braucht man eine Stärke von 50 Kerzen, um bei genügender Mattierung dieselbe Wirkung wie durch eine Petroleumlampe zu erzielen. Das Beobachtungsrohr besteht aus den 3 Linsen A B, C D und E F. Letztere ist plankonvex, die beiden ersteren bikonvex, alle drei sind voneinander, wenn beide Augen emmetropisch sind, je um 75 mm entfernt. A B steht etwa so, daß die Pupille von O_1 im Brennpunkt derselben sich befindet. Vor E F befindet sich die zweite halbmondförmige Abblendung G H, durch welche das Auge O_2 unmittelbar hindurchsieht.

Die äußere Form des Apparates ist in der Figur 39 wiedergegeben. Auf derselben sieht man zunächst ein Holzbrett, welches durch einen rechts angebrachten Trieb in der Richtung von links nach rechts, also parallel der Verbindungslinie der Augen des Beobachters, verschoben werden kann. Auf diesem Grundbrett steht eine feste Metallsäule, die einen zweiten Trieb enthält, welcher gestattet, den optischen Teil des Apparates in vertikaler Richtung zu verschrauben. Der zu Beobachtende stützt sein Kinn auf den hinten in der Figur sichtbaren Kinnhalter. Damit keine zu großen Exkursionen der Seitenbewegung des Apparates

notwendig werden, sind auf dem Kinnhalter zwei Aushöhlungen, ähnlich wie das an den Perimetern gebräuchlich ist, damit das Auge des Beobachteten sich annähernd immer an derselben Stelle befindet. In der Figur sind ferner Beleuchtungs- und Beobachtungsrohr deutlich zu erkennen. Das Beobachtungsrohr ist in einer Führung verschieblich. Als Griff benutzt man die unter dem Beobachtungsrohr sichtbare Kugel und

Figur 39.



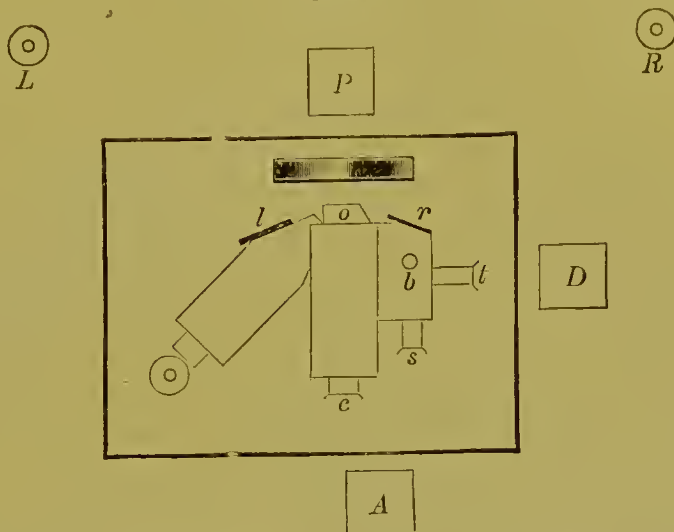
bewegt dieselbe entweder auf den Beobachteten oder auf sich selbst zu. Zur scharfen Einstellung ist diese einfache Methode des Gleitens gewählt und keine Schraube, deswegen, damit bei dem großen Wechsel der verschiedenen Refraktionen mehrere Beobachter hintereinander oder derselbe Beobachter bei mehreren Untersuchten schnell die richtige Einstellung zu finden imstande ist.

Sehr wichtig ist nun, daß die Lampe fest mit dem optischen Teil des Apparates verbunden ist, damit sie allen Einstellungen desselben

zu folgen vermag. Dies läßt sich nicht nur mit elektrischem Licht, sondern auch sehr gut mit einer Petroleumlampe verwirklichen, da es ja nicht nötig ist, den Apparat zu neigen, in der Weise, wie aus der Figur 39 ohne weiteres ersichtlich ist. Die Petroleumlampe selbst ist durch einen sie fest umgebenden undurchsichtigen Metallcylinder vollständig abgeschlossen, sodaß der Beobachter durch kein Seitenlicht gestört wird. Entfernt man diesen Cylinder, was ja doch an dem eigentlichen optischen Prinzip gar nichts ändert, so wird sofort der Beobachter durch das intensive Licht, das seitlich auf seine Netzhaut fällt, so geblendet, daß er die Einzelheiten des Augenhintergrundes viel weniger gut zu erkennen im stande ist. Diese Abblendung ist im Wesen genau dieselbe, wie die von Brücke angewandte Scheibe, welche das Licht dem Beobachter bei der Hervorbringung des Augenleuchtens verdeckte. An diesem Cylinder, bei neueren Apparaten statt dessen am Beleuchtungsrohr selbst, ist hier noch ein kleiner Knopf sichtbar. Derselbe dient dazu, eine Rauchglasscheibe durch Drehung zwischen Lichtquelle und Beleuchtungsrohr ein- oder auszuschalten. Für manche Zwecke der Beobachtung, z. B. wenn es sich um längere Untersuchungen der macula lutea, besonders bei empfindlichen Personen handelt, oder wenn der Augenhintergrund gezeichnet werden soll, kann es sich empfehlen, das Licht zu verringern. Wollte man dies durch Niedrigerschrauben der Petroleumlampe erzielen, so wird das Feld ungleichmäßig beleuchtet werden. Ein sehr wichtiger Teil ist nun noch rechts neben dem Beobachtungsrohre sichtbar, ein kleiner Kasten mit zwei Oeffnungen zum Hineinsehen, die eine in der Richtung vom Beobachter aus, die andere für eine seitlich sitzende Person. Dieser Kasten entspricht dem, was bei Fernrohren der Sucher ist, und kann auch als solcher bezeichnet werden. Wenn man den Augenhintergrund durch das Beobachtungsrohr sieht und durch eine Bewegung des Untersuchten sich das Auge gegen den Apparat verschiebt, so merkt man wohl, daß das Bild dunkler wird oder verschwindet, dagegen nicht, nach welcher Seite das Auge abgewichen ist. Dieser Sucher gestattet nun, durch Spiegelung direkt die Pupille des beobachteten Auges zu sehen, und zwar für den Untersucher selbst oder für eine Person, welche diesem den Augenhintergrund demonstrieren will. Die Spiegelung geschieht durch ein total reflektierendes Prisma, welches auf dem Durchschnitt Figur 41 abgebildet ist. Durch Drehung desselben an dem in der Figur 39 unter dem Sucher angebrachten Knopf wird die eine oder die andere Spiegelungsrichtung hervorgebracht. Bei neueren Apparaten hat aus mechanischen Gründen der Sucher eine etwas andere, runde Form bekommen und es

wird statt des Knopfes unten der ganze obere Deckel gedreht, das Prinzip aber ist dasselbe geblieben. Endlich sind noch zwei kleine Seitenspiegel l und r (Figur 40) zu erwähnen, die zu beiden Seiten der

Figur 40.



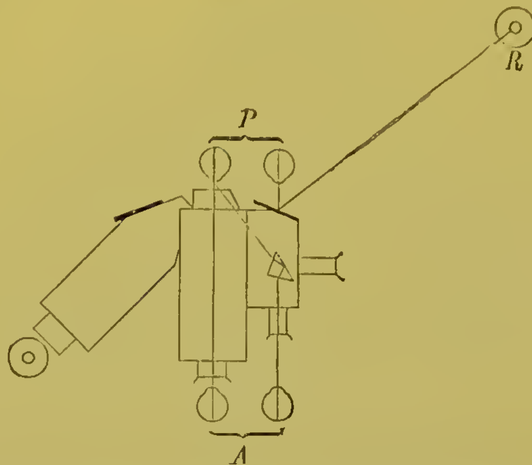
Oeffnung o, in die der Beobachtete hineinsieht, angebracht sind. Dieselben dienen dazu, dem nicht untersuchten Auge eine bestimmte Fixationsrichtung zu geben, indem seitlich hinter dem Beobachter aufgestellte Lampen L oder R von dem Beobachteten mit Hilfe dieser Spiegel angesehen werden.

Die Untersuchung mit dem Instrument.

Die Untersuchung gestaltet sich nun mittels dieses Apparates so, daß derselbe auf einem schmalen Tische aufgestellt wird, an dem der Beobachter, sowie der zu Untersuchende Platz nehmen. Die Anordnung ist in der Figur 40 in der Ansicht von oben dargestellt. Die Pupille des zu untersuchenden Auges wird am besten durch Homatropin erweitert. Es gelingt zwar die Beobachtung auch bei enger Pupille, jedoch ist dann die Einstellung etwas schwieriger und das Bild wird nach den Seiten zu sehr lichtschwach, aus dem Grunde, der ausführlich bei Aufstellung der Tabelle I Seite 47 dargelegt ist. Zur Erweiterung wird am besten reines Homatropin verwandt ohne Cocaïnzusatz, da bei letzterem das Hornhautepithel leichte Veränderungen erleidet, die sich schon im Bilde störend bemerkbar machen. In der Figur 40 stellt P den Platz für den Beobachteten, A den für den Beobachter dar. D ist der Platz, von dem aus ein Demonstrator den Apparat für einen anderen einstellen

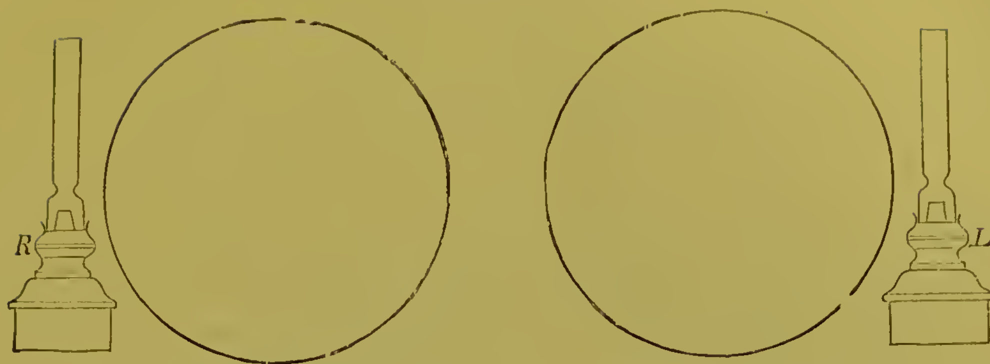
kann. Dieser blickt dann durch das Rohr t des Suchers, nachdem er den Knopf so gedreht hat, daß ihm das Bild der Pupille des Untersuchten sichtbar wird. Will der Beobachter selbst den Apparat richtig einstellen, so beobachtet er am besten binocular, indem er mit dem linken Auge durch c, mit dem rechten Auge durch das Rohr s des Suchers blickt. Diese Anordnung ist in der Figur 41 dargestellt. In

Figur 41.



dieser ist auch die Richtung angegeben, in der dem Beobachteten P die Lampe R mittels Spiegelung an dem kleinen Spiegel r erscheint. Zu Anfang ist es nun gut, diesen zu fixierenden Lampen L und R eine solche Stellung zu geben, daß gerade die Papille des Untersuchten sich in der Mitte des Gesichtsfeldes befindet. Als Fixierlampen werden am besten Petroleumlampen mit rotem Cylinder benutzt, da sich dieses rote Licht für den Untersuchten von dem weißen Licht gut unterscheidet, welches auf das andere Auge fällt. Diese richtige Stellung der Fixierlampen findet man so, daß man selbst sein Kinn auf den Kinnhalter aufstützt und binocular, wie in der Figur 41 abgebildet, sowohl in den Apparat wie nach dem Spiegelbilde der betreffenden Lampe sicht. Die Lampen müssen dann im Vergleich zu dem kreisförmigen Beleuchtungsfelde des Augenspiegels eine solche Stellung haben, wie dies die Figur 42 zeigt, d. h. dicht am Rand dieses Beleuchtungsfeldes stehen. Und zwar gibt die linke Hälfte des Bildes die Stellung der Lampe R, die zur Einstellung der Papille des linken Auges dient, die rechte Hälfte die Stellung der Lampe L für das andere Auge an. Der Untersuchte soll sich mit seinem Auge ungefähr auf 1 cm an die Oeffnung o (Figur 40) annähern. Es ist dies eine Entfernung, welche sich von allen bequem innehalten läßt. In der Richtung auf den Patienten zu ist der ganze Apparat absichtlich

Figur 42.



nicht verschiebbar gemacht, damit keine Beschädigung des Auges vorkommen kann. Die Figur 43 zeigt nun das Bild, das im Sucher erscheint, und die Art, wie der Apparat richtig eingestellt wird. Wenn der helle halbmondförmige Schein noch gar nicht, wie in Figur 43, 1 oder erst teilweise wie in 2 oder 3 sichtbar wird, so ist dies ein Zeichen,

Figur 43.



daß sich das Auge noch nicht nahe genug am Apparat befindet. Erst wenn, wie in 4, neben dem ganzen hellen Halbmond noch ein Teil der unbeleuchteten Pupillenhälfte sichtbar wird, so befindet sich das Auge des Untersuchten in annähernd richtiger Entfernung. Dann kommt es darauf an, den Apparat so an den beiden Trieben zu schrauben, daß der helle Schein gerade die rechte Hälfte der Pupille bedeckt; in Wahr-

heit ist es die linke Hälfte, aber durch Spiegelung erscheinen die Seiten im Sucher umgekehrt. Diese richtige Einstellung ist in 5 angegeben, während in 4 der Apparat zu hoch steht, in 6 zu tief und in 7 zu weit nach links. 8 zeigt die richtige Stellung bei enger Pupille.

Die kleine Plankonvexlinse, welche das Beobachtungsrohr nach vorn abschließt und welche in Figur 39 an der halbmondförmigen Blende erkennbar ist, reicht noch mittels des Auszuges des Beobachtungsrohres für Refraktionsgrade von etwa + 6 D bis — 7 D aus. Dasselbe ist mit dem Buchstaben E bezeichnet. Dieses Okular kann gegen 3 andere vertauscht werden. Das eine ist eine stärkere Plankonvexlinse von 50 mm Brennweite und reicht für Hypermetropien bis ungfähr + 12 D. Dieses Ocular ist mit H bezeichnet. Die beiden anderen mit M und M M bezeichneten Oculare dienen für Beobachtung höherer Myopie. M ist eine Konvexlinse von + 3 D und dient zur Beobachtung von Myopien bis — 19 D, M M ist eine Konkavlinse von — 7 D, und mit dieser können noch hochgradige Myopien bis — 30 D beobachtet werden. Alle diese Oculare sind ebenfalls mit halbmondförmigen Blenden versehen, ebenso können in das Rohr s des Suchers (Figur 40) Gläser eingesetzt werden, damit der Beobachter auch bei den verschiedenen Anomalien seiner eigenen Refraktion die Pupille im Sucher deutlich sehen kann.

Von besonderem Interesse ist es, daß bei den höchsten Graden der Myopie mit diesem Instrumente ebenso wie bei Emmetropie der Augenhintergrund beobachtet werden kann, während dies bekanntlich bei derselben Vergrößerung im aufrechten Bilde nicht möglich ist. Es liegt dies daran, daß die Beleuchtung durch das Auseinanderweichen der von den einzelnen Punkten des Hintergrundes ausgehenden Strahlenkegel bei der Beobachtung im aufrechten Bilde eine sehr ungenügende wird, während sie bei diesem Instrumente immer gleich günstig bleibt. Auch gelingt es bei der Entfernung von 5 cm, welche im aufrechten Bilde zwischen den beiden Augen besteht, bei Myopien von etwa — 20 D überhaupt nicht mehr, ein scharfes Bild bei Anwendung noch so starker Konkavgläser zu bekommen, weil dann der Fernpunkt des Untersuchten in der Pupille des Beobachters liegt. Bei dem beschriebenen Instrument dagegen befindet sich gewissermaßen der Beobachter stets mit seiner Pupille in der Pupille des Untersuchten selbst und kann daher jede Refraktionsanomalie leicht ausgleichen.

IV. Die objektive Refraktionsbestimmung.

Eine der wichtigsten Anwendungen, auf die schon von Helmholtz selbst in seiner ersten Arbeit hindeutete, fand der Augenspiegel dadurch, daß man imstande ist, die Refraktion des untersuchten Auges unabhängig von den Angaben des Beobachteten zu bestimmen. Man sieht gleichsam mit dessen eigenem Auge, d. h. mit dem optischen Teile desselben. Wenn wir auf die Figur 2 Seite 5 zurückgehen, so treten die Strahlen aus dem emmetropischen Auge a so aus, als wenn sie von einem unendlich weiten Punkte herkämen, aus dem myopischen b so, als wenn sie von dessen Fernpunkt b' ausgingen und im hypermetropischen Auge c divergieren sie so, daß es scheint, als wenn das Bild der Netzhaut hinter dem Auge in c' läge. Jede Refraktionsbestimmung hat also in letzter Linie den Zweck, die Strecke zu bestimmen, um welche das Bild der Netzhaut von der Pupille des Untersuchten entfernt ist. Ebensogut wie wir die Beobachtungssysteme des Augenspiegels mit einem Fernrohr verglichen haben, können wir die Instrumente zur objektiven Refraktionsbestimmung mit Entfernungsmessern vergleichen.

Die Methoden, welche dazu dienen, die Refraktion objektiv zu bestimmen, beruhen im wesentlichen darauf, daß möglichst scharf auf die Netzhaut des Untersuchten eingestellt wird. Im aufrechten Bilde wird dies durch das Vorschalten von kleinen Brillengläsern, die regelmäßig abgestuft sind, erreicht, und welche in meist sehr sinnreicher Weise miteinander kombiniert werden. Bei anderen Methoden, die im umgekehrten Bilde benutzt werden, wird ein Gegenstand möglichst scharf auf der Netzhaut des Untersuchten abgebildet. Hierhin gehört der Refraktionsbestimmer von Schmidt-Rimpler, bei dem der Untersuchte durch eine Konvexlinse künstlich myopisch gemacht wird und dann das Bild eines Gitters im Fernpunkt entworfen wird, und der elektrische Augenspiegel von Schweigger für hochgradige Myopien, bei dem das Bild einer Glühschlinge direkt in den Fernpunkt gebracht wird. Bei diesen beiden Methoden wird eigentlich doppelt scharf eingestellt. Erstens muß ein scharfes Bild des Gitters resp. der Glühschlinge auf der Netzhaut entstehen und zweitens muß dieses Bild auch vom Beobachter scharf gesehen werden. Diese beiden Methoden haben den Vorzug, daß bei ihnen die Akkommodation des Untersuchers nicht in Betracht kommt,

da, wenn das Bild einmal unscharf auf der Netzhaut entworfen ist, dies die Akkommodation des Beobachters nicht korrigieren kann.

Eine besondere Stellung nimmt die Skiaskopie ein. Man kann von derselben sagen, daß sie auf einer möglichst unscharfen Einstellung beruht. Das gleichzeitige Verschwinden des Schattens über der ganzen Pupille tritt dann ein, wenn der Fernpunkt in der Ebene des Spiegels des Beobachters liegt. Liegt der Fernpunkt vor dieser Ebene, so sehen wir ein umgekehrtes Bild des Hintergrundes, liegt er hinter dieser Ebene, so sehen wir ein aufrechtes Bild des Hintergrundes. Die Probe mittels der Drehung des Spiegels auf mit- und gegenläufigen Schatten ist ja nichts anderes, als daß wir uns in bequemer Weise orientieren, ob wir es mit einem aufrechten oder umgekehrten Bilde zu tun haben. In dem Moment also, wo das Bild des Hintergrundes auf unserer Netzhaut so unscharf wird, daß wir nicht mehr erkennen können, ob es aufrecht oder umgekehrt ist, d. h. ob die Schattenbewegung mit- oder gegenläufig ist, liegt das Bild etwa in der Ebene unserer Pupille. Die Skiaskopie hat den Vorteil, daß sie unabhängig von der Akkommodation des Beobachters ist, und daß sie in der Hand des Geübten eine sehr schnelle Methode zur Refraktionsbestimmung darstellt. Sie gibt aber nicht immer ganz einwandsfreie Resultate. Denn wir müssen uns vergegenwärtigen, daß wir immer nur die Refraktion eines Teiles der Pupille bestimmen, nämlich desjenigen, wo der Schatten hinüberstreicht, während wir doch die gesamte Refraktion der ganzen Pupille kennen wollen. Andererseits bestimmen wir nicht die Refraktion eines Netzhautpunktes, sondern derjenigen Netzhautfläche, auf welcher das Bild des Spiegelloches liegt. Wenn diese Fläche auch klein ist, so kann sie doch zu Irrtümern Veranlassung geben, wie z. B. wenn sich die Exkavation des Sehnerven gerade im Gesichtsfelde befindet, und das wird bei enger Pupille oft der Fall sein, weil es dann schwierig ist, an der macula lutea die Skiaskopie vorzunehmen. Erweitert man hingegen die Pupille, so wird häufig der Rand der Pupille eine andere Refraktion als die Mitte haben. Bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde findet dieser Fehler nicht statt, da hier die Refraktion eines Netzhautpunktes, aber der ganzen Pupille bestimmt wird.

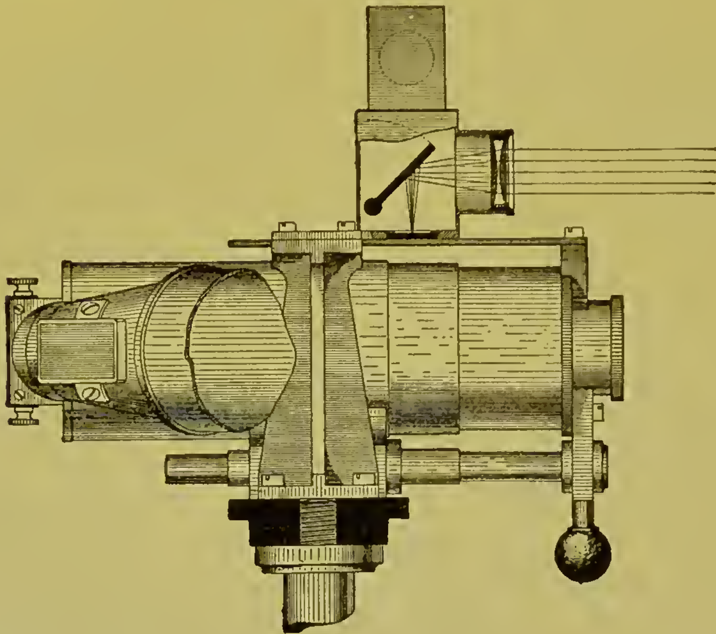
Betrachtet man die Entfernungsmesser, welche zu terrestrischen Zwecken im Gebrauch sind, so wird das Prinzip der scharfen Einstellung fast gar nicht verwandt, da es eine verhältnismäßig ungenaue Methode darstellt, sondern hier sind hauptsächlich zwei Methoden im Gebrauch: 1. die Messung der Bildgröße eines am Objektpunkte aufgestellten Maßstabes, 2. die Verwendung einer Basis. Die erstere An-

ordnung läßt sich leider für das Auge nicht verwerten, denn kein Gebilde des Augenhintergrundes ist so konstant in der Größe, daß die scheinbaren Aenderungen, die in dieser Größe durch die verschiedenen Refraktionen entstehen, erlauben würden, einen sicheren Schluß auf dieselbe zu ziehen. Mehr Aussicht scheint die Verwendung einer Basis zu haben. Die Basis, welche uns zur Verfügung steht, ist der Durchmesser der erweiterten Pupille, nämlich 8 mm. Wir werden im nächsten Kapitel sehen, daß diese Basis genügt, um eine gute stereoskopische Wirkung zu ergeben, folglich müßte man auch nach dem Prinzip der bekannten Basisapparate eine Refraktionsbestimmung darauf gründen können. Ich habe an dem im vorigen Kapitel beschriebenen reflexlosen Augenspiegel den Versuch gemacht, die aus dem Okular austretenden Strahlenbüschel so durch Spiegelung zu verschieben, daß das aus dem oberen Viertel und das aus dem unteren Viertel der halbmondförmigen Oeffnung austretende Bündel von demselben Orte herzukommen schien. Wenn dann auf Parallelstrahlen eingestellt ist, kann diese Verschiebung keine Wirkung ausüben, da dann immer die Punkte einfach gesehen werden müssen. Befindet sich das Objekt dagegen nicht genau im Unendlichen, so erscheint es doppelt und zwar desto mehr, je näher es dem Beobachter zu liegt. Wenn auch an Gegenständen außerhalb des Auges, deren Entfernung auf diese Weise mit dem Beobachtungssystem des Augenspiegels gemessen wurde, das Prinzip sich sehr gut bewährte, indem eine Genauigkeit von $^1/_{10}$ Dioptrie erzielt wurde, so änderten sich doch diese günstigen Resultate, sobald man auf den Augenhintergrund einstellte. Die Zeichnung desselben eignet sich mit ihrer diffusroten Farbe und ihren wenig markanten Gebilden sehr schlecht zu einer derartigen Einstellung auf Doppelbilder. Der Nutzen der Verwendung der Basis ist ja auch nur ein scheinbarer. Die Zerstreuungskreise werden nämlich in unserem einen Auge so groß bei der einfachen Prüfung auf scharfe Einstellung, als die Distanz der korrespondierenden Punkte in der Netzhaut unserer beiden Augen bei der Verwendung einer Basis beträgt. Vielleicht läßt sich zukünftig noch eine andere Methode für die Refraktionsbestimmung verwerten: Hier ist besonders der Vorschlag bemerkenswert, welchen Czapski in seiner Arbeit: „Ueber Tiefenmessungen mit Hilfe des stereoskopischen Sehens", Archiv für Augenheilkunde, Bd. XLVII. Heft 1, macht, nämlich, das Prinzip der bekannten Zeiß'schen Entfernungsmesser auf den im nächsten Kapitel zu beschreibenden stereoskopischen Augenspiegel anzuwenden. Es wird bei den Zeiß'schen Entfernungsmessern bekanntlich eine Skala, welche für beide Augen im Okular angebracht ist, so projiziert, daß die ein-

zelnen Marken im Raum in gewissen Entfernungen zu schweben scheinen. Nach demselben Prinzip könnte nun eine Skala, welche für die verschiedenen Refraktionen Marken enthält, bei dem stereoskopischen Augenspiegel in den Raum projiziert werden.

Es handelte sich nun weiterhin darum, festzustellen, welche von den beiden Methoden sich mehr für das System des reflexlosen Augenspiegels eignen würde, das Entwerfen eines Bildes im Beleuchtungsrohre oder die scharfe Einstellung im Beobachtungsrohre. Der erstere Versuch wurde so angestellt, daß eine stark verkleinerte Photographie von Sehproben so im Beleuchtungsrohre verschiebbar angebracht wurde, daß sie

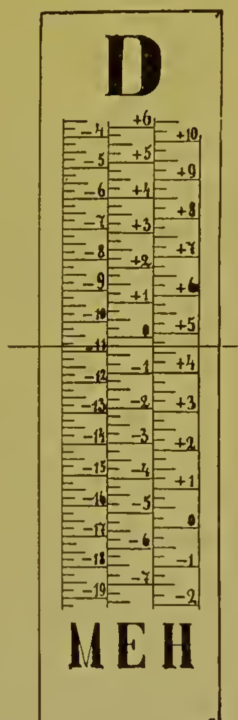
Figur 44.



unter dem gleichen Sehwinkel erschien, als wenn sie außerhalb des Augenspiegels in 5 m Entfernung gelesen wurde. Hierbei muß von einem normalen Auge die mit 5 bezeichnete Sehprobe erkannt werden, und dies war auch bei diesen verkleinerten Sehproben der Fall. Während aber nun der Untersuchte die mit 5 bezeichnete Probe las, konnte der Beobachter auf dem Hintergrunde nur das Bild der mit 35 bezeichneten Probe erkennen, während alle kleineren Zahlen nicht mehr lesbar waren. Der Grund liegt auch hier wieder in der besonderen körnigen Beschaffenheit des Augenhintergrundes. Derselbe eignet sich eben nicht als Projektionsschirm. So blieb als bestes die einfache Methode der scharfen Einstellung durch Verschieben des Beobachtungsrohres übrig.

In der Figur 44 ist diese Vorrichtung in der äußeren Ansicht, teilweise durchbrochen dargestellt. Man sieht in derselben das Beobachtungsrohr des Augenspiegels von der Seite, an demselben oben eine Skala befestigt, die hier verkürzt als schmaler Streifen erscheint und in der Figur 45 in der Aufsicht gezeichnet ist. Die Skala gleitet bei den Verschiebungen des Beobachtungsrohres unter einer Glasplatte hinweg, die als Index eine feine Linie trägt. Dieser Index sieht von oben her so aus, wie der in Figur 45 über die Skala von links nach rechts laufende feine Strich. Die Einteilung ist für die drei Okulare M, E und H vorgenommen, und dementsprechend sind auf der Skala drei Einteilungen

Figur 45.



nebeneinander sichtbar. Es wird nun diejenige Zahl abgelesen, bei welcher der Index steht. So würde bei der in Figur 45 gezeichneten Stellung, falls sich das Okular M im Rohre befindet, die Refraktion — 10,75 D sein. Falls man dieselbe Einstellung mit dem Okular E gefunden hätte, so wäre es — 0,25 D, und wenn man sie mit dem Okular H erhalten hätte, + 4,75 D.

Da das Zimmer zur Untersuchung des Augenhintergrundes gewöhnlich verdunkelt ist, so ist es zweckmäßig, wenn die Skala zur Ablesung beleuchtet wird. Zu diesem Zwecke geht ein total reflektierender Glasstab von der Lampe bis oberhalb der Skala, in dessen Innern die Licht-

strahlen durch fortwährende Reflexion an den Wänden fortgeleitet werden. Die Ablesung kann nun der Beobachter selbst vornehmen mit Hilfe der in Figur 44 dargestellten Einrichtung. Man sieht oberhalb der Skala einen Spiegel, durch den die Lichtstrahlen von der Skala aus den dargestellten Weg einschlagen. Sie durchlaufen, nachdem sie vom Spiegel aus horizontal weiter gegangen sind, ein Okular, in dessen Brennpunkt die Skala steht, sodaß der Beobachter, um die Skala scharf zu erkennen, sein Auge für parallele Strahlen einstellen muß. Die Bestimmung der Refraktion geschieht nun so, daß der Beobachter das Beobachtungsrohr so weit wie möglich auszieht, ohne daß das Bild unscharf erscheint. Er entspannt dadurch seine eigene Akkommodation in derselben Weise, wie dies bei der Bestimmung im aufrechten Bilde durch das Vorschalten der schwächeren Konkav- oder stärkeren Konvexgläser geschieht. Es wird aber die Entspannung der Akkommodation durch die kontinuierlichen Uebergänge bei der Verschiebung des Auszugsrohres leichter als bei der sprungweisen Aenderung der Gläser. Damit ein anderer im stande ist, statt des Beobachters selbst die Refraktion abzulesen, kann der Spiegel um seinen unteren horizontalen Rand nach hinten gedreht werden. Die Skala spiegelt sich dann in einem zweiten feststehenden Spiegel, der oberhalb des ersten angebracht ist und einer am Platze des Demonstrators D (Figur 40) sitzenden Person das Ablesen ermöglicht.

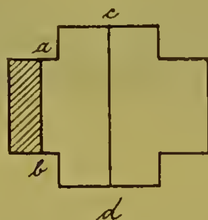
Wenn der Beobachter selbst die Ablesung vornehmen will, so muß er seinen Kopf, nachdem er scharf eingestellt hat, etwas erheben; durch die zum Ablesen notwendige Akkommodationsentspannung gewöhnt er sich daran, auch bei der Einstellung nicht zu akkommodieren. Eigene Refraktionsanomalien müssen natürlich ebenso, wie dies bei der Bestimmung im aufrechten Bilde geschieht, in Anrechnung gebracht werden, oder aber, was noch vorteilhafter ist, der Beobachter muß sein Auge durch ein Korrektionsglas zu einem emmetropischen machen.

Die Genauigkeit, mit der mittels dieser Vorrichtung die Refraktion bestimmt werden kann, ist, wie ich mich durch vielfache Versuche überzeugt habe, so groß, daß die Fehler nicht $1/_4$ Dioptrie übersteigen. Eine solche Genauigkeit wird aber nur dann erreicht, wenn der Beobachtete sich ruhig verhält und während der Einstellung nicht viel Bewegungen mit den Augen macht. Bei Kindern und unruhigen Personen leidet natürlich die Genauigkeit der Bestimmung. Es dürfte aber dies bei den anderen Methoden noch in erhöhtem Maße der Fall sein. Zur Erzielung einer möglichst sicheren Bestimmung wird sich stets Mydriasis empfehlen, sowohl um die Akkommodation des Untersuchten zu entspannen, als auch, um die Zerstreuungskreise, auf denen die Sicherheit

der Einstellung beruht, möglichst zu vergrößern. Gegenüber der Bestimmung im aufrechten Bilde hat die Methode hauptsächlich den Vorzug, daß es bei dem großen Gesichtsfelde stets leicht möglich ist, auf die vielen feinen Gefäße der Makulagegend sowie auch die Foveola einzustellen. Bekanntlich macht es bei der Bestimmung im aufrechten Bilde oft große Schwierigkeiten, die feinen Gefäße zu finden. Bei Astigmatismus kann man ebenso wie im aufrechten Bilde auf die in den verschiedenen Meridianen verlaufenden Gefäße einstellen.

Eine zweite Vorrichtung, welche zu der Bestimmung höherer Refraktionsanomalien von Wichtigkeit ist, besteht darin, daß man eine Kontrolle darüber haben muß, daß sich das Auge des Untersuchten ungefähr in der richtigen Entfernung vom Apparate befindet. Bei einem solchen stabilen Instrument läßt sich dies verhältnismäßig leicht bewerkstelligen. In Figur 46 ist die vordere Oeffnung des Augenspiegels, in

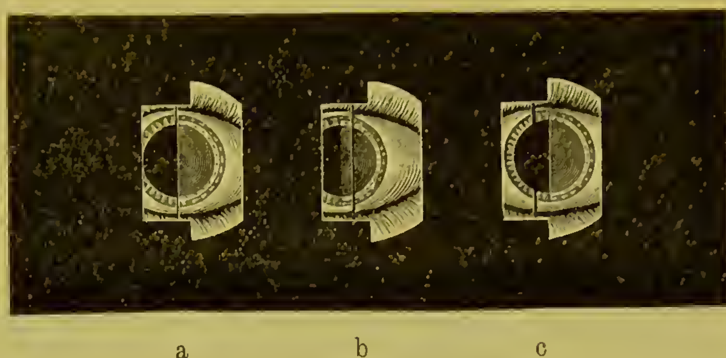
Figur 46.



die der Untersuchte hineinsieht, dargestellt. Dieselbe wird durch die Prismenkante c d halbiert, rechts von c d liegt das Beleuchtungsprisma, links von c d ist ein freier Raum, durch den die Beobachtungsstrahlen in den Augenspiegel eintreten. Nach links von diesem freien Raum wird nun ein kurzes Stück einer Glasplatte, die leicht schraffiert dargestellt ist, fest angebracht. Der Rand derselben a b ist matt geschliffen und schwarz lackiert. Dieser Rand erscheint nun dem Beobachter vom Sucher aus als eine schwarze senkrechte Linie, welche über die Pupille des Untersuchten zieht. Das Bild des Augenhintergrundes wird dadurch nicht beeinträchtigt, weil die Linie a b zu sehr seitlich liegt. Da nun die Projektion der Grenze des beleuchteten Halbmondes stets in der optischen Achse liegt, die Visierrichtung des Suchers aber schräg dazu gestellt ist, so hat diese schwarze Linie zu der geraden Kante des Halbmondes eine verschiedene Lage je nach der Entfernung, die das Auge vom Apparate einnimmt. Die Figur 47 zeigt drei solcher Stellungen, bei denen jedesmal die notwendige richtige Einstellung in beleuchtete und unbeleuchtete Pupillenhälfte schon stattgefunden hat. Figur 47a zeigt die schwarze Linie gerade mit der Grenze des Halb-

mondes zusammenfallend. Die Glasscheibe ist nun so justiert, daß in diesem Falle die Entfernung des Hornhautspiegels von der Frontöffnung des Augenspiegels 10 mm beträgt. Wenn sich das Auge zu weit entfernt, so tritt die gerade Kante des Halbmondes nach links von diesem Strich, wie dies in Figur 47b zu sehen ist. Wenn es dagegen zu nahe herankommt, so geht die gerade Kante des Halbmondes nach rechts, wie in Figur 47c. Aber erst bei Refraktionsanomalien von ± 8 Dioptrien an ist es notwendig, diese Entfernung genau inne zu halten, wie wir unten sehen werden.

Figur 47.



a b c

Es ist von Schmidt-Rimpler anläßlich seiner Methode der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde berechnet worden, daß, wenn sich die Pupille des Auges gerade im Brennpunkte einer Konvexlinse befindet, dann für jede Dioptrie Refraktionsdifferenz die Lage des Bildes des Augenhintergrundes sich um eine konstant bleibende Strecke verschiebt. Drückt man die Brennweite in Millimetern aus, so ist die Verschiebung für jede Dioptrie $= \frac{f^2}{1000}$ mm. Da nun bei dem beschriebenen Beobachtungssystem die feststehende Linse, sowie alle übrigen Linsen die Brennweite von 75 mm hat, so entspricht einer Dioptrie eine Verschiebung des Auszuges des Beobachtungsrohres um $\frac{75 \times 75}{1000}$ $= 5{,}625$ mm. Aus praktischen Gründen mußte von der Forderung, die Pupille genau in den Brennpunkt der feststehenden Konvexlinse zu legen, etwas abgewichen werden, wodurch sich die Verschiebung des Auszuges um geringe Werte ändert. Sie beträgt bei + 12 D etwa 6 mm, bei — 20 D etwa 4 mm für jede Dioptrie.

Es ist nun noch ein wichtiger Punkt zu betrachten, der auch für die subjektive Refraktionsbestimmung mit Hilfe von Sehproben eine

gewisse Rolle spielt. Wenn wir ganz allgemein eine Entfernung messen, so müssen wir einen Nullpunkt haben, von dem aus diese Entfernung gemessen wird. Allgemein nimmt man beim Auge den vorderen Knotenpunkt als diesen Nullpunkt an, analog mit anderen optischen Instrumenten. Ich habe dies genauer in einer Arbeit: „Zur Theorie der Refraktionsbestimmungen" im Archiv für Augenheilkunde, Band XLV, Heft 2, Verlag von J. F. Bergmann. Wiesbaden, auseinandergesetzt und dabei für diesen Wert der Refraktion die Bezeichnung „innere Refraktion" vorgeschlagen. Dieser gegenüber steht der Wert, den man findet, wenn man den Fernpunkt von demjenigen Punkte aus mißt, in dem sich das korrigierende Brillenglas befindet und den man als „äußere Refraktion" bezeichnen könnte. Während der vordere Knotenpunkt sich 7 mm hinter dem Hornhautscheitel befindet, liegt der Ort des Brillenglases gewöhnlich 10 mm vor dem Hornhautscheitel. Es ergibt dies eine Differenz der beiden Nullpunkte um 17 mm. Für den Ort des Brillenglases hatte ich in der eben erwähnten Arbeit die Benennung „Korrektionspunkt" vorgeschlagen. Für niedere Refraktionsgrade spielt nun diese Differenz noch keine Rolle, dagegen macht sie sich bei höheren Anomalien, besonders bei der Myopie, sehr bemerklich. Liegt z. B. der Fernpunkt eines Auges 250 mm vom vorderen Knotenpunkte entfernt, so liegt er nur 233 mm vor dem Korrektionspunkt. Es gibt dies eine innere Refraktion von — 4 D, dagegen eine äußere von — 4,25 D, und im Korrektionspunkt ist ein Brillenglas von — 4,25 D und nicht von — 4 D notwendig, um das Auge zu einem emmetropischen zu machen. Ist umgekehrt im Korrektionspunkt das richtige Brillenglas — 4 D, so liegt der Fernpunkt vom vorderen Knotenpunkt 267 mm entfernt, d. h. die innere Refraktion ist — 3,75 D. In viel höherem Maße tritt diese Differenz bei den stärkeren Graden der Myopie auf. Bei der subjektiven Prüfung mit Hilfe von Brillengläsern wird nun stets die äußere Refraktion bestimmt. Da es oft unangenehm empfunden wurde, daß hierin gegen die innere Refraktion ein Fehler gemacht wird, so gibt man häufig die Vorschrift, bei höheren Graden von Myopie das Korrektionsglas in einem Halter dicht an das Auge heranzubringen. Man macht aber dadurch den Fehler ganz unkontrollierbar und man trägt ja ein Brillenglas auch nicht so dicht vor dem Auge. Da an sich innere wie äußere Refraktion gleiche Berechtigung hat, so ist es zweckmäßiger, die äußere Refraktion zu bestimmen und die innere nach einer Tabelle daraus abzulesen. Umgekehrt kann man dann, wenn ein Instrument die innere Refraktion angibt, aus derselben Tabelle die äußere Refraktion finden. Die Skala des stabilen Augenspiegels ist nun so eingeteilt, daß sie stets

die innere Refraktion angibt. Ich habe nun eine solche Tabelle von + 12 D bis — 22 D von $1/4$ zu $1/4$ Dioptrie aufgestellt, aus der sich der jedesmalige Wert der beiden zusammengehörigen Refraktionen leicht finden läßt. (Tabelle II.)

Ta-

I Fernpunkt-Knotenpunkt mm	II Innere Refraktion D	III Aeussere Refraktion D	IV Fernpunkt-Korrektionspunkt mm	I Fernpunkt-Knotenpunkt mm	II Innere Refraktion D	III Aeussere Refraktion D	IV Fernpunkt-Korrektionspunkt mm
— 83	+ 12,00	+ 10,00	— 100	— 308	+ 3,25	+ 3,00	— 325
— 85	+ 11,75	+ 9,75	— 102	— 333	+ 3,00	+ 2,75	— 350
— 87	+ 11,50	+ 9,50	— 104	— 364	+ 2,75	+ 2,75	— 381
— 89	+ 11,25	+ 9,50	— 106	— 400	+ 2,50	+ 2,50	— 417
— 91	+ 11,00	+ 9,25	— 108	— 444	+ 2,25	+ 2,25	— 461
— 93	+ 10,75	+ 9,00	— 110	— 500	+ 2,00	+ 2,00	— 517
— 95	+ 10,50	+ 9,00	— 112	— 571	+ 1,75	+ 1,75	— 588
— 98	+ 10,25	+ 8,75	— 115	— 667	+ 1,50	+ 1,50	— 684
— 100	+ 10,00	+ 8,50	— 117	— 800	+ 1,25	+ 1,25	— 817
— 103	+ 9,75	+ 8,25	— 120	— 1000	+ 1,00	+ 1,00	— 1017
— 105	+ 9,50	+ 8,25	— 122	— 1333	+ 0,75	+ 0,75	— 1350
— 108	+ 9,25	+ 8,00	— 125	— 2000	+ 0,50	+ 0,50	— 2017
— 111	+ 9,00	+ 7,75	— 128	— 4000	+ 0,25	+ 0,25	— 4017
— 114	+ 8,75	+ 7,50	— 131	∓ ∞	± 0,00	± 0,00	∓ ∞
— 118	+ 8,50	+ 7,50	— 135	+ 4000	— 0,25	— 0,25	+ 3983
— 121	+ 8,25	+ 7,25	— 138	+ 2000	— 0,50	— 0,50	+ 1983
— 125	+ 8,00	+ 7,00	— 142	+ 1333	— 0,75	— 0,75	+ 1316
— 129	+ 7,75	+ 6,75	— 146	+ 1000	— 1,00	— 1,00	+ 983
— 133	+ 7,50	+ 6,75	— 150	+ 800	— 1,25	— 1,25	+ 783
— 138	+ 7,25	+ 6,50	— 155	+ 667	— 1,50	— 1,50	+ 650
— 143	+ 7,00	+ 6,25	— 160	+ 571	— 1,75	— 1,75	+ 554
— 148	+ 6,75	+ 6,00	— 165	+ 500	— 2,00	— 2,00	+ 483
— 154	+ 6,50	+ 5,75	— 171	+ 444	— 2,25	— 2,25	+ 427
— 160	+ 6,25	+ 5,75	— 177	+ 400	— 2,50	— 2,50	+ 383
— 167	+ 6,00	+ 5,50	— 184	+ 364	— 2,75	— 3,00	+ 347
— 174	+ 5,75	+ 5,25	— 191	+ 333	— 3,00	— 3,25	+ 316
— 182	+ 5,50	+ 5,00	— 199	+ 308	— 3,25	— 3,50	+ 291
— 190	+ 5,25	+ 4,75	— 207	+ 286	— 3,50	— 3,75	+ 269
— 200	+ 5,00	+ 4,50	— 217	+ 267	— 3,75	— 4,00	+ 250
— 211	+ 4,75	+ 4,50	— 228	+ 250	— 4,00	— 4,25	+ 233
— 222	+ 4,50	+ 4,25	— 239	+ 235	— 4,25	— 4,50	+ 218
— 235	+ 4,25	+ 4,00	— 252	+ 222	— 4,50	— 4,75	+ 205
— 250	+ 4,00	+ 3,75	— 267	+ 211	— 4,75	— 5,25	+ 194
— 267	+ 3,75	+ 3,50	— 284	+ 200	— 5,00	— 5,50	+ 183
— 286	+ 3,50	+ 3,25	— 303	+ 190	— 5,25	— 5,75	+ 173

Diese Tabelle enthält 4 Spalten. In der ersten ist die Distanz zwischen Fernpunkt und Knotenpunkt, in der vierten die zwischen Fernpunkt und Korrektionspunkt angegeben, die zweite enthält die innere, die dritte die äußere Refraktion, jedesmal nach $1/4$ Dioptrien abgerundet.

Man ersieht z. B. aus dieser Tabelle, daß von + 2,75 D bis — 2,5 D gar kein Unterschied zwischen innerer und äußerer Refraktion besteht, oder wenigstens nur ein solcher, der unterhalb $1/8$ Dioptrien liegt. Bei — 7 D beträgt derselbe schon 1 Dioptrie, bei — 10 D 2 Dioptrien und

belle II.

I Fernpunkt-Knotenpunkt mm	II Innere Refraktion D	III Aeussere Refraktion D	IV Fernpunkt-Korrektionspunkt mm	I Fernpunkt-Knotenpunkt mm	II Innere Refraktion D	III Aeussere Refraktion D	IV Fernpunkt-Korrektionspunkt mm
+ 182	— 5,50	— 6,00	+ 165	+ 70	— 14,25	— 18,75	+ 53
+ 174	— 5,75	— 6,25	+ 157	+ 69	— 14,50	— 19,25	+ 52
+ 167	— 6,00	— 6,75	+ 150	+ 68	— 14,75	— 19,75	+ 51
+ 160	— 6,25	— 7,00	+ 143	+ 67	— 15,00	— 20,25	+ 50
+ 154	— 6,50	— 7,25	+ 137	+ 66	— 15,25	— 20,50	+ 49
+ 148	— 6,75	— 7,50	+ 131	+ 65	— 15,50	— 21,00	+ 48
+ 143	— 7,00	— 8,00	+ 126	+ 63	— 15,75	— 21,50	+ 46
+ 138	— 7,25	— 8,25	+ 121	+ 63	— 16,00	— 22,00	+ 46
+ 133	— 7,50	— 8,50	+ 116	+ 62	— 16,25	— 22,50	+ 45
+ 129	— 7,75	— 9,00	+ 112	+ 61	— 16,50	— 23,00	+ 44
+ 125	— 8,00	— 9,25	+ 108	+ 60	— 16,75	— 23,50	+ 43
+ 121	— 8,25	— 9.50	+ 104	+ 59	— 17,00	— 24,00	+ 42
+ 118	— 8,50	— 10,00	+ 101	+ 58	— 17,25	— 24,50	+ 41
+ 114	— 8,75	— 10,25	+ 97	+ 57	— 17,50	— 25,00	+ 40
+ 111	— 9,00	— 10,75	+ 94	+ 56	— 17,75	— 25,50	+ 39
+ 108	— 9,25	— 11,00	+ 91	+ 56	— 18,00	— 26,00	+ 39
+ 105	— 9,50	— 11,25	+ 88	+ 55	— 18,25	— 26,50	+ 38
+ 103	— 9,75	— 11,75	+ 86	+ 54	— 18,50	— 27,00	+ 37
+ 100	— 10,00	— 12,00	+ 83	+ 53	— 18,75	— 27,50	+ 36
+ 98	— 10,25	— 12,50	+ 81	+ 53	— 19,00	— 28,00	+ 36
+ 95	— 10,50	— 12,75	+ 78	+ 52	— 19,25	— 28,50	+ 35
+ 93	— 10,75	— 13,25	+ 76	+ 51	— 19,50	— 29,25	+ 34
+ 91	— 11,00	— 13,50	+ 74	+ 51	— 19,75	— 29,75	+ 34
+ 89	— 11,25	— 14,00	+ 72	+ 50	— 20,00	— 30,25	+ 33
+ 87	— 11,50	— 14,25	+ 70	+ 49	— 20,25	— 31,00	+ 32
+ 85	— 11,75	— 14,75	+ 68	+ 49	— 20,50	— 31,50	+ 32
+ 83	— 12,00	— 15,00	+ 66	+ 48	— 20,75	— 32,00	+ 31
+ 82	— 12,25	— 15,50	+ 65	+ 48	— 21,00	— 32,75	+ 31
+ 80	— 12,50	— 15,75	+ 63	+ 47	— 21,25	— 33,25	+ 30
+ 78	— 12,75	— 16,25	+ 61	+ 47	— 21,50	— 34,00	+ 30
+ 77	— 13,00	— 16,75	+ 60	+ 46	— 21,75	— 34,50	+ 29
+ 75	— 13,25	— 17,00	+ 58	+ 45	— 22,00	— 35,25	+ 28
+ 74	— 13,50	— 17,50	+ 57				
+ 73	— 13,75	— 18,00	+ 56				
+ 71	— 14,00	— 18,25	+ 54				

bei — 13,5 D sogar schon 4 Dioptrien. Bei der Bestimmung des Fernpunktes der Kurzsichtigen würde es am zweckmäßigsten sein, die Entfernung vom Korrektionspunkte aus zu messen. Finden wir dann beispielsweise 66 mm Abstand zwischen Fernpunkt und Korrektionspunkt,

so bedeutet dies eine äußere Refraktion von — 15 D und eine innere Refraktion von — 12 D. Das Gleiche gilt für die Methoden, welche den Fernpunkt direkt bestimmen, wie der elektrische Augenspiegel von Schweigger und die Skiaskopie ohne Zuhilfenahme von Gläsern bei Myopie. Bei beiden erhalten wir die äußere Refraktion, wenn wir die Entfernung des Bildes resp. der Umschlagstelle des Schattens von dem Korrektionspunkte des untersuchten Auges messen. Wendet man die Skiaskopie mit Zuhilfenahme von Gläsern an, so erhält man wieder die äußere Refraktion, wenn das korrigierende Glas im Korrektionspunkte steht. Wenn man aber bei hohen Myopien, wie das häufig geschieht, dasselbe näher an das Auge heranbringt, um einen geringeren Grad zu erhalten, so begeht man wieder denselben Fehler, wie bei den subjektiven Prüfungen.

Bei dem Refraktionsbestimmer von Schmidt-Rimpler erhalten wir die innere oder äußere Refraktion, je nachdem wir den Brennpunkt des feststehenden Konvexglases in den vorderen Knotenpunkt oder den Korrektionspunkt des Auges verlegen.

Nimmt man bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde an, daß sich die beiden Augen 50 mm voneinander entfernt befinden, so wird das Korrektionsglas, das in der Recoss'schen Scheibe hinter dem Spiegel angebracht ist, nicht näher als 40 mm an den Hornhautscheitel oder 30 mm an den Korrektionspunkt herankommen. Will man die äußere Refraktion bestimmen und die innere danach berechnen, so wird man eine Genauigkeit von $1/_2$ Dioptrie nur bei solchen Ametropien erreichen, bei denen die Intervalle zwischen 2 Werten der inneren Refraktion, die um $1/_2$ Dioptrie differieren (Spalte 2 der Tabelle II), noch nicht kleiner als 30 mm werden (Spalte 1). Dies wären die Werte von + 4,5 D bis — 4,5 D (innere Refraktion), also nur bis zu diesen Werten haben Gläser mit Intervallen von $1/_2$ D eine praktische Bedeutung. Wenn man sich mit der Genauigkeit von 1 D begnügt, so kann man die Refraktion noch zwischen + 6 D und — 6 D (innere Refraktion) bestimmen. 2 Dioptrien wird der Fehler schon bei — 8 D und + 8 D (innere Refraktion), 3 Dioptrien bei — 10 D und + 10 D (innere Refraktion), sodaß höhere regelmäßig abgestufte Gläser als ± 10 D für die Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde ganz zwecklos sind. Dies gilt für den Fall, daß man die äußere Refraktion bestimmt und die innere danach berechnet. Bei direkter Bestimmung der inneren Refraktion wird der Fehler noch größer.

Bei der Bestimmung mittels des stabilen Augenspiegels hat man nun die Möglichkeit, auch bei hohen Graden von Myopien ein sicheres

Resultat zu erhalten. Es ist dazu aber notwendig, daß die Entfernung zwischen Auge und Apparat genau innegehalten wird. Die Vorrichtung dazu haben wir schon kennen gelernt. Um über den Einfluß klar zu werden, den bei verschiedenen Graden der Ametropien eine Verschiebung des Auges in der Visierlinie hat, habe ich diejenigen Verschiebungen in der Visierlinie berechnet, welche einen Fehler von $^1/_4$ D — und dies soll der grösste Fehler sein, der noch zulässig ist — hervorbringen. Die Werte sind in der Tabelle III zusammengestellt.

Tabelle III.

Es wird eine Aenderung des gefundenen Refraktionswertes um $^1/_4$ D verursacht:

bei Werten von:	durch Entfernungsänderung des Auges vom Apparate um:
D	mm
± 20	0,75
± 19	0,75
± 18	0,75
± 17	1,00
± 16	1,00
± 15	1,00
± 14	1,25
± 13	1,50
± 12	1,75
± 11	2,00
± 10	2,50
± 9	3,25
± 8	4,00
± 7	5,50
± 6	7,25
± 5	10,50
± 4	16,75
± 3	30,25
± 2	71,50
± 1	333,25
± 0	∞

Man sieht, daß bei Refraktionsanomalien unterhalb 8 D ein genaues Innehalten einer bestimmten Entfernung des Apparates vom Auge noch nicht notwendig ist. Das gleiche gilt natürlich für alle Arten der Refraktionsbestimmung in gleicher Weise. Bei Werten über 8 D ist es

dagegen notwendig, wenn man ganz genaue Resultate erhalten will, auch die Entfernung des Auges auf ca. 1—2 mm genau zu regulieren, was sich mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtung im Sucher leicht erzielen läßt.

Die Bestimmung der Refraktion mit Hilfe des stabilen Augenspiegels hat nun den Vorzug, daß sie sehr leicht ausführbar ist. Während zu den anderen Methoden der objektiven Refraktionsbestimmung eine recht große Uebung gehört, kann diese Methode selbst von solchen Personen ausgeführt werden, die überhaupt noch nicht den Augenhintergrund beobachtet haben. Es ist dann nur notwendig, daß ein anderer für sie den Augenspiegel einstellt, und daß sie weiter nichts tun, als das Beobachtungsrohr so weit wie möglich auszuziehen, ohne daß das Bild unscharf wird.

V. Die stereoskopische Betrachtung des Augenhintergrundes.

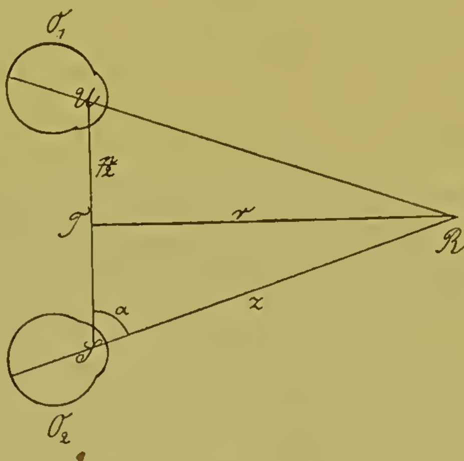
Die Beobachtung mit beiden Augen hat vor der monocularen so große Vorzüge, daß es erklärlich ist, daß man dieselbe auch in der Ophthalmoskopie schon frühzeitig hat anwenden wollen. Ein Instrument, welches diesem Zwecke diente, ist der 1861 von Giraud-Teulon konstruierte binokulare Augenspiegel, dessen Prinzip im Allgemeinen Aehnlichkeit mit dem der binokularen Mikroskope hat. Ueber den Wert des Giraud-Teulon'schen Spiegels hat man sich viel gestritten. Nachdem man anfänglich von demselben große Vorteile für die Diagnostik erhofft hatte, ist man später immer mehr von ihm zurückgekommen und hat ihm schließlich jede plastische Wirkung abgestritten. Die Wahrheit liegt in der Mitte. Dieses Instrument gibt zweifellos eine plastische Wirkung, die besonders deutlich bei der tief ausgehöhlten Papille des Kaninchenauges hervortritt. Im menschlichen Augenhintergrunde sind aber die Niveaudifferenzen im Allgemeinen so schwach, daß die Empfindlichkeit des Beobachters bei Anwendung des Giraud-Teulon'schen Augenspiegels nicht genügt, um sie wahrzunehmen. Nur bei ganz besonderen pathologischen Zuständen kann dies gelegentlich der Fall sein. Es wurden dann von einigen anderen Autoren noch binokulare Augenspiegel, wesentlich nach demselben Prinzip wie derjenige von Giraud-Teulon konstruiert. Hierhin gehört z. B. der binokulare Augenspiegel von Coccius aus dem Jahre 1872.

Um nun das körperliche Sehen bei diesem Instrumente, sowie überhaupt die Aussichten, die für eine plastische Beobachtung des Augenhintergrundes bestehen, beurteilen zu können, müssen wir auf die allgemeinen Gesetze für das binokulare Sehen eingehen. Dieselben sind vielfach in sehr verschiedener Weise entwickelt worden. Ich will an dieser Stelle hauptsächlich einer Darstellung folgen, die ich im „Archiv für Augenheilkunde“, Band XLII, Heft 1, 2 (Schweigger's Festschrift) unter dem Titel „Ein stereoskopischer Augenspiegel“ gegeben habe und die mir für die Beurteilung des plastischen Sehens bei der Ophthalmoskopie besonders geeignet erscheint. Ich schlug damals vor, zur Vereinfachung der Darstellung folgende Begriffe einzuführen: „Längenminimum“ für die kleinste Distanz, die man in der zur Visierrichtung Senkrechten erkennen kann, „Tiefenminimum“ für die kleinste Distanz, die man in der Visierrichtung noch zu unterscheiden vermag, und „stereoskopischen Quotienten“ für den Quotienten dieser beiden Größen, also für $\frac{\text{Längenminimum}}{\text{Tiefenminimum}}$. Wenn ein beliebiger mathematischer Körper, sagen wir ein Würfel, sich in einer bestimmten Entfernung vor unserem Auge befindet, so stellt Längenminimum, sowie Tiefenminimum eine bestimmte Größe dar. Sagen wir beispielsweise, die Entfernung betrage 30 cm, das Längenminimum 0,1 mm und das Tiefenminimum 0,5 mm, so heißt dies mit anderen Worten: 2 Punkte, welche nebeneinander liegen, können wir noch dann als getrennte Punkte wahrnehmen, wenn sie $^1/_{10}$ mm voneinander entfernt sind. Von 2 Punkten, welche hintereinander liegen, vermögen wir noch dann anzugeben, welcher der vordere und welcher der hintere ist, wenn sie $^1/_2$ mm voneinander entfernt sind. Der stereoskopische Quotient ist in diesem Falle $= \frac{0,1}{0,5} = {}^1/_5$. Entfernen wir nun den Würfel weiter von uns, etwa auf 3 m, so nimmt zunächst das Längenminimum zu. Wir werden jetzt 2 nebeneinander befindliche Punkte nur noch als getrennt wahrnehmen, wenn sie 1 mm voneinander entfernt sind. Auch das Tiefenminimum nimmt zu, aber dasselbe nimmt stärker zu als das Längenminimum, was sowohl durch den praktischen Versuch gezeigt wird, als auch theoretisch sich beweisen läßt. Dasselbe würde dann nicht 10 mal so groß wie vorher, d. h. 5 mm, sondern 100 mal so groß, also 50 mm sein. Wir können von 2 hintereinander liegenden Punkten nur dann angeben, welcher vorn ist, wenn dieselben um 50 mm getrennt sind. Der stereoskopische Quotient würde in diesem Falle $^1/_{50}$ betragen. Dieser Quotient ist nun maßgebend für die Plastik, mit der uns ein Körper erscheint. Derselbe Würfel erscheint also in der Ent-

fernung von 30 cm 10 mal so plastisch als in der Entfernung von 3 m. Daß uns dies nicht so zum Bewußtsein kommt, liegt nur daran, daß wir aus Gewohnheit die Entfernung bei der Beurteilung der Plastik eines Körpers berücksichtigen. Kennen wir aber die Entfernung nicht, so hat dieses Gesetz seine volle Giltigkeit.

Zunächst wäre die Zunahme des Längenminimums proportional der Entfernung und des Tiefenminimums proportional dem Quadrat der Entfernung zu beweisen. Der Beweis ist für beide Fälle verhältnismäßig einfach. Wenn der kleinste Winkel, unter dem 2 Punkte noch als getrennt wahrgenommen werden, der gewöhnlich als 1′ angenommen wird, mit φ, die Entfernung des Gegenstandes vom Auge mit r bezeichnet wird, so ist das Längenminimum $= r \cdot \operatorname{arc} \varphi$, also proportional der Entfernung r. Um den Satz für das Tiefenminimum zu beweisen, nehmen wir die Figur 48 zu Hilfe; hier bedeuten O_1 und O_2 die beiden Augen

Figur 48.



des Beobachters, welche auf einen Punkt R gerichtet sind. Die Verbindungslinie der beiden Pupillen ist U S, ihre Mitte T, die Entfernung R T sei mit r bezeichnet, die Linie U S mit p, R S mit z und $\angle$ R S T $= \alpha$. Dann ist:

$$r = \frac{p}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Differenziert man diese Gleichung, so erhält man:

$$d\,r = \frac{p}{2 \cos^2 \alpha} \cdot d\,\alpha$$

und für $\frac{p}{2 \cos^2 \alpha}$ kann man setzen: $\frac{2\,z^2}{p}$, also ist:

$$d\,r = \frac{2\,z^2}{p} \cdot d\,\alpha.$$

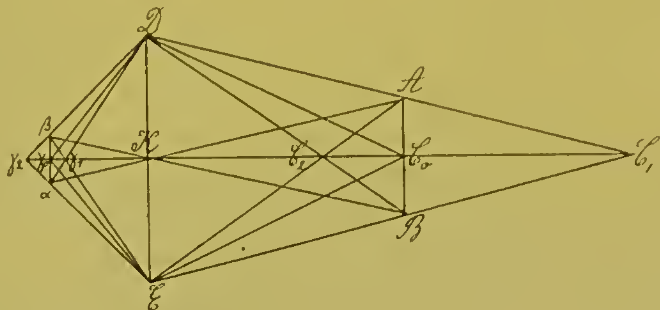
Das heißt, wenn zu irgend einem Wert von α ein verschwindend kleiner Zuwachs d α hinzukommt, ist der Zuwachs für r proportional dem Quadrat der Linie S R. Dieser Zuwachs beträgt nun hier 30″ und ist somit klein genug, um in die Gleichung eingesetzt noch genügend genaue Resultate zu ergeben. Es ist also das Tiefenminimum proportional dem Quadrat der Linie R S. Da aber $RS^2 = r^2 + \frac{p^2}{4}$ und $\frac{p^2}{4}$ im Vergleich zu r^2 nur sehr klein ist, so kann man mit genügender Genauigkeit auch sagen, das Tiefenminimum ist proportional r^2.

Beim körperlichen Sehen hat man nun zwei ganz voneinander verschiedene Dinge zu unterscheiden: 1. das Gefühl des Räumlichen und 2. die optischen Grundlagen für die Tiefenwahrnehmung. Das erste ist eine spezifische Empfindung, die nur dann eintritt, wenn mit beiden Augen gesehen wird. Mit den Muskelbewegungen des Auges hat dieselbe sicherlich nichts zu tun, denn beim Hering'schen Fallversuch ebenso wie bei Beleuchtung mit elektrischen Funken, also in einer Zeit, die zu kurz ist, als daß Muskelbewegungen stattfinden könnten, weiß man doch mit Sicherheit, ob ein Körper vor oder hinter einem anderen liegt. Am wahrscheinlichsten ist, daß eine Empfindung dafür besteht, ob wir gleichnamige oder gekreuzte Doppelbilder eines Gegenstandes wahrnehmen. Bei ersteren haben wir das Gefühl der größeren Entfernung, bei letzteren das Gefühl der größeren Nähe als der fixierte Punkt. Dieses Gefühl ist mit anderen spezifischen Energien zu vergleichen. Es hat als Vorbedingung die optischen Grundlagen, aber es braucht noch nicht zu entstehen, wenn diese da sind. Das sieht man z. B. an Schielenden, welche auf beiden Augen volle Sehschärfe haben und deren Augenachsen durch eine Operation richtig gestellt werden. Diese vermögen doch nicht das Gefühl des Räumlichen zu bekommen, weil in ihrem Gehirn die betreffenden Teile nicht ausgebildet sind. Auch mit einem Auge läßt sich das Gefühl des Räumlichen nicht erzielen. Wir können durch Bewegungen des Kopfes bei Schließen eines Auges uns künstlich eine Basis herstellen, die ebenso groß wie die Verbindungslinie der beiden Augen ist und sehen dann die sogenannte parallaktische Verschiebung der Gegenstände, welche uns vollkommen Aufschluß über die räumliche Lage derselben gibt. Wir wissen dann auch, was vorn oder hinten ist Niemals tritt aber das spezifische Gefühl des Räumlichen dabei auf. Was aber die optischen Grundlagen für die Tiefenwahrnehmung betrifft, so sind dieselben nur von der Basis abhängig, und da bei Betrachtung mit nur einem Auge die Pupille selbst eine

Basis darstellt, so müssen die Gesetze in gleicher Weise für ein wie für beide Augen gelten.

Mit Hilfe der Figur 49[1]) kann das Tiefenminimum beim monocularen Sehen berechnet werden. D E stellt die Pupille des Auges dar,

Figur 49.



$K\gamma_0$ die Entfernung der Netzhaut vom Knotenpunkt (diese ist gleich der Brennweite im nicht akkommodierten Zustande), $KC_0 = r$ die Entfernung des fixierten Gegenstandes, $AB = l$ das Längenminimum für die Entfernung r und $\alpha\beta = \lambda$ das Bild dieser Strecke l auf der Netzhaut des Auges. Wenn der kleinste Sehwinkel 1′ mit φ bezeichnet wird, ist

$\angle C_0 K B = \frac{\varphi}{2}$ und

$$l = 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} r.$$

Wir hatten vorhin für das Längenminimum den Ausdruck arc $\varphi \cdot r$ erhalten. Bei so kleinen Winkeln, wie die in Frage stehenden sind, kommen diese Ausdrücke beide auf dasselbe hinaus. Vorhin war der Bogen, hier die Sehne berechnet worden. Ein Punkt wird noch dann als näher oder entfernter liegend wie C_0 erkannt, wenn der von ihm verursachte Zerstreuungskreis auf dem Hintergrunde des Auges die Größe λ erreicht hat. Man muß also die beiden Punkte aufsuchen, welche einen Zerstreuungkreis von der Größe λ erzeugen. Dazu verbindet man A mit E und B mit D, diese beiden Linien schneiden sich in C_2, ferner D mit β und E mit α. Diese Linien schneiden sich in γ_2, dann ist γ_2 das Bild von C_2, und C_2 der nächste gesuchte Punkt, welcher als näher liegend wie C_0 erkannt wird. In gleicher Weise verbindet man D mit A

1) In allen Figuren dieses Kapitels sind der klaren Uebersicht halber die Winkel übertrieben groß gezeichnet. Da der kleinste Sehwinkel 1′ beträgt, so ist auch nur eine annähernde Wiedergabe der natürlichen Verhältnisse in diesen Zeichnungen nicht möglich.

und E mit B. Diese Linien schneiden sich in C_1, ferner D mit α und E mit β, der Schnittpunkt ist γ_1. Dann ist γ_1 das Bild von C_1, und C_1 der nächste gesuchte Punkt, welcher als ferner liegend wie C_0 erkannt wird. In diesen Fällen wird also die Erkenntnis, daß der betreffende Punkt näher oder ferner als C_0 liegt, daraus hergeleitet, daß der Zerstreuungskreis desselben eine merkliche Größe erlangt. Wir wollen nun die Strecken $C_0\,C_2$ und $C_0\,C_1$ berechnen. D E sei = p, K C_2 = s, dann ist $C_0\,C_2 = r - s$. Die Dreiecke A B C_2 und D E C_2 sind ähnlich, folglich:

$$A\,B : C_0\,C_2 = D\,E : K\,C_2$$
$$l : r - s = p : s$$
$$l\,s = r\,p - s\,p$$
$$s = \frac{rp}{p + l}$$
$$r - s = r - \frac{rp}{p + l} = \frac{rl}{p + l}$$

Ferner sind die Dreiecke A B C_1 und D E C_1 ähnlich, folglich ist, wenn man K C_1 mit s' bezeichnet:

$$A\,B : C_0\,C_1 = D\,E : K\,C_1$$
$$l : s' - r = p : s'$$
$$l\,s' = p\,s' - p\,r$$
$$s' = \frac{rp}{p - l}$$
$$s' - r = \frac{rp}{p - l} - r = \frac{rl}{p - l}$$

Das Tiefenminimum vor C_0 ist also $= \frac{rl}{p + l}$ und das Tiefenminimum hinter $C_0 = \frac{rl}{p - l}$. Im Allgemeinen werden diese beiden Werte nicht sehr von einander verschieden sein. Man nimmt deswegen am besten den zwischen beiden liegenden Mittelwert $\frac{rl}{p}$ als das Tiefenminimum für die Entfernung r an. Setzt man für l den vorher berechneten Wert $2\,\mathrm{tg}\,\frac{\varphi}{2}\,r$ ein, so ist das Tiefenminimum für die Entfernung r = $\frac{2\,\mathrm{tg}\,\frac{\varphi}{2}\,r^2}{p}$. Wir sehen also auch aus dieser Berechnung, daß es proportional dem Quadrat der Entfernung ist. Ferner ist es aber umgekehrt

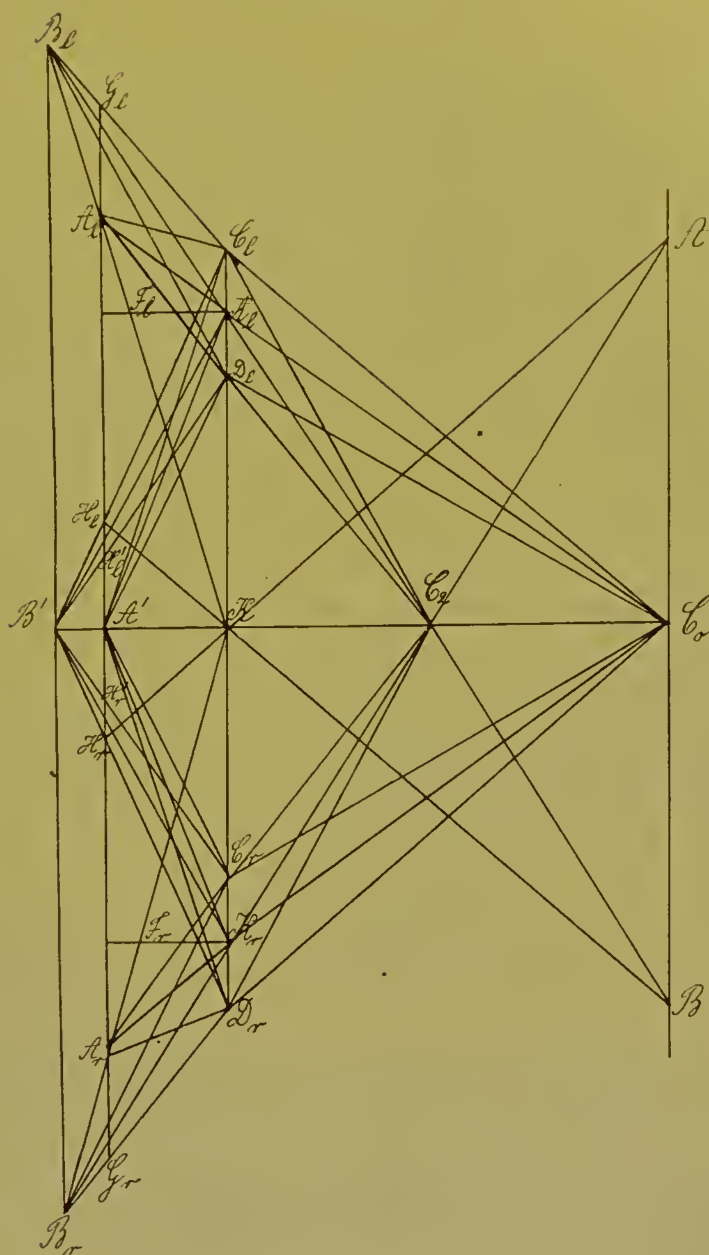
proportional der Basis p. Je größer die Basis ist, desto kleiner wird das Tiefenminimum, d. h. desto empfindlicher die Tiefenwahrnehmung.

Der stereoskopische Quotient ist $= \dfrac{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} rp}{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} r^2} = \dfrac{p}{r}$, nimmt also proportional der Entfernung ab, wie wir dies in dem anfangs erwähnten Beispiel schon gesehen hatten.

Ebenso gut, wie die Figur 49 für das Tiefenminimum eines Auges gilt, kann man sich auch D E als die Verbindungslinie beider Augen vorstellen und muß sich dann beide Augen so in eins zusammenfallend denken, daß die korrespondierenden Netzhautpunkte sich decken, wie dies Hering für sein schematisches Cyklopenauge getan hat. Dann gelten genau dieselben Formeln, die wir eben aufgestellt haben, wenn wir nur für p jetzt die Verbindungslinie der beiden Pupillen einsetzen. Um aber auch zu beweisen, daß diese Betrachtung wirklich zulässig ist, wollen wir die Figur 50 zu Hilfe nehmen. Hier ist dasselbe wie in Figur 49 dargestellt. D E ist vergrössert zu C_l D_r. A′ ist das Bild von C_0, der näher liegende Punkt C_2 ist in gleicher Weise konstruiert, sein Bild ist B′. H_l H_r entspricht dem Zerstreuungskreise $\lambda = \alpha\beta$, A B derselben Linie in der vorigen Figur. Würde nun nicht die ganze Oeffnung C_l D_r wirksam sein, sondern würde man aus derselben nur die Stücke C_l D_l und C_r D_r wirken lassen, so würde auf der Fläche von A′ nicht der ganze Zerstreuungskreis H_l H_r entstehen, sondern nur die beiden einzelnen Zerstreuungskreise H_l H_l' und H_r H_r'. Der Punkt A′ würde nicht erzeugt werden von dem ganzen Strahlenkegel C_l A′ D_r, sondern nur von den beiden einzelnen Bündeln C_l A′ D_l und C_r A′ D_r. Setzt man nun statt dieses Hering'schen Cyklopenauges die beiden wirklichen Augen in die Figur ein, so ist der Unterschied der, daß die Strahlen C_0 K_r und C_0 K_l ungebrochen hindurch gehen (K_l und K_r sollen die Knotenpunkte der Augen sein), folglich werden statt A′ die beiden Bilder A_l und A_r erzeugt. Statt B′ würden ebenfalls nach bekannter Konstruktion die beiden Bilder B_l und B_r entstehen. Zur Tiefenwahrnehmung von C_2 haben wir also jetzt statt des Zerstreuungskreises H_l H_r die beiden halben Zerstreuungskreise A_l G_l und A_r G_r zur Verfügung. Da A_l und A_r korrespondierende Punkte sind, so kann man sie sich auf einander gelegt denken und die ganze Betrachtung ist dann richtig, wenn wir beweisen können, daß

$$A_r G_r = A' H_r \text{ und ebenso } A_l G_l = A' H_l \text{ sind.}$$

Figur 50.



Der Beweis ist einfach.

$\triangle$ A_r G_r B_r ist ähnlich $\triangle$ K B_r D_r. Folglich verhält sich:

$A_r\,G_r : K\,D_r = A'\,B' : B'\,K$ (Die Höhen dieser Dreiecke)

und $\triangle$ A' B' H_r ist ähnlich $\triangle$ K B' D_r. Folglich verhält sich:

$A'\,H_r : K\,D_r = A'\,B' : B'\,K$

---

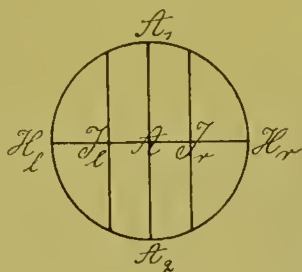
also auch: $A_r\,G_r = A'\,H_r$.

Derselbe Beweis gilt für die andere Seite.

Wir können also in gleicher Weise die für ein Auge gefundenen Formeln Längenminimum $= 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \cdot r$, Tiefenminimum $= \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \cdot r^2}{p}$ und stereoskopischer Quotient $= \frac{p}{r}$ auch für die binoculare Betrachtung verwerten. Dabei haben wir noch einen Punkt zu berücksichtigen.

Wenn wir den Zerstreuungskreis $H_l\, H_r$ in Figur 50 betrachten, so sind die einzelnen Punkte des Zerstreuungskreises für die stereoskopische Auffassung der Lage von C_2 von verschiedenem Werte. Die Strahlen, welche dicht an H_l und H_r die Netzhaut treffen, tragen viel zu der Anschauung bei, dass C_2 näher als C_0 liegt, während die nahe an A′ auftreffenden Strahlen dies weniger imstande sind und der durch K gezogene ungebrochene Strahl, sowie die senkrecht über oder unter ihm auf die Pupille auftreffenden gar keinen stereoskopischen Wert besitzen. Wenn Figur 51 den Zerstreuungskreis darstellt, so haben die Punkte auf der

Figur 51.



Senkrechten $A_1\, A_2$ den stereoskopischen Wert 0, die Punkte H_l und H_r den grössten Wert und die dazwischen gelegenen Punkte einen Mittelwert, der der Entfernung von $A_1\, A_2$ stets proportional ist. Der Durchschnittswert aller dieser Punkte muß bestimmt werden. Man kann sich nun alle Punkte auf 2 dem Durchmesser parallele Linien konzentriert denken, welche die Horizontale in J_l und J_r schneiden, sodaß die durch J_l und J_r gezogenen Graden den Halbkreis halbieren. Dann ist $J_l\, J_r$ mit annähernder Genauigkeit $= 0{,}4 \,.\, H_l\, H_r$. Statt einer kreisförmigen Basis vom Durchmesser p haben wir also stets den Wert 0,4 p einzusetzen. Wenn man den centralen Teil der Oeffnung abblenden würde, so könnte man dadurch natürlich den Durchschnittswerth bis schließlich zu p erhöhen, aber die Lichtstärke würde dadurch geringer werden, und dies ist beim ohnehin sehr schwachen Lichte des Augenhintergrundes nicht gestattet. Für die monokulare Beobachtung ist also die Basis = 0,4 p, wenn p den Pupillen-

durchmesser darstellt. Die Basis für die binokulare Beobachtung ist als die Summe der Distanz der Pupillenmitten $K_l K_r = P$ und der beiden halben Pupillendurchmesser $K_l C_l + K_r D_r = p$ anzusehen. Während man P voll in Rechnung zieht, muß man p wieder mit dem Faktor 0,4 multiplizieren, sodaß die Basis für die binokulare Beobachtung = P + 0,4 p ist. Für das Tiefenminimum ergibt sich bei monokularer Beobachtung der Wert $\frac{\text{arc}\,\varphi\, r^2}{0{,}4\, p}$ [1] und bei binokularer Beobachtung der Wert: $\frac{\text{arc}\,\varphi\, r^2}{P + 0{,}4\, p}$.

Mit Hilfe dieser Formeln sind wir nun leicht imstande, für jedes optische Instrument, besonders auch für die Anordnungen des Augenspiegels, die stereoskopische Wirkung zu berechnen. Nehmen wir zunächst an, daß wir durch ein monokulares Fernrohr einen Gegenstand betrachten. Wenn das Fernrohr n mal vergrößert, so kann man sich die Wirkung desselben dadurch ersetzt denken, daß das ganze Auge mit allen seinen Teilen die n fache Dimension angenommen hat, während die Nervenelemente gleich groß geblieben wären. Die Pupille hat also den n fachen Durchmesser, die Achse hat die n fache Größe, sodaß der Wert des kleinsten Sehwinkels arc φ ebenfalls auf $^1/_n$ herabsinkt. Wir haben also die Werte: statt des Längenminimums arc φ . r den Wert $\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r}{n}$, d. h. in derselben Entfernung wird eine n fach so kleine Strecke wie mit bloßem Auge erkannt. Aus dem Tiefenminimum $\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r^2}{0{,}4\, p}$ wird jetzt $\frac{\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r^2}{n}}{0{,}4\, n\, p} = \frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r^2}{0{,}4\, p\, n^2}$, d. h. das Tiefenminimum wird n^2 mal so klein. Aus dem stereoskopischen Quotienten $\frac{0{,}4\, p}{r}$ wird nunmehr $\frac{0{,}4\, n\, p}{r}$, derselbe wird n mal so groß, folglich die stereoskopische Entfernung n mal so klein. Da wir in einer n fach verkleinerten Entfernung ein n fach verkleinertes Längenminimum und ein n^2 fach verkleinertes Tiefenminimum wahrzunehmen gewohnt sind, so hat das monokulare Fernrohr tatsächlich in der Plastik denselben Effekt, als wenn der Gegenstand auf die n fach so kleine Entfernung angenähert wird, vorausgesetzt, daß die Pupille des Auges die kleinste Blende im System darstellt. Das-

1) Wir wählen hier der bequemeren Schreib- wie Sprechweise wegen wieder den Wert des Bogens arc φ.

selbe gilt auch für den Fall, daß n kleiner als 1 wird, das Fernrohr also verkleinert.

Wird nun ein binokulares Fernrohr angewandt, welches n mal vergrößerte aufrechte Bilder ergibt, so geschieht folgendes: die Pupille wird n mal so groß, der Sehwinkel n mal so klein, die Basis aber bleibt, abgesehen von den geringen Aenderungen, die durch die optische Vergrößerung der beiden Pupillen entsteht, gleich. Es wird also das Längenminimum wieder wie im vorigen Falle $\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r}{n}$, also n mal so klein als mit bloßem Auge. Das Tiefenminimum wird dagegen $\frac{\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r^2}{n}}{p}$, also auch nur n mal so klein, der stereoskopische Quotient ist $= \frac{p}{r}$, also mithin derselbe, wie bei Betrachtung mit bloßem Auge. Ebenso bleibt die stereoskopische Entfernung dieselbe. Die scheinbare Entfernung ist aber durch die Vergrößerung der Gegenstände eine n mal so kleine geworden. Die Folge ist die, daß alles abnorm flach erscheint, während, wenn man das Doppel-Fernrohr (Operngla s) verkehrt vor das Auge hält, alle Gegenstände abnorm erhaben erscheinen, weil dann das Umgekehrte stattfindet. Nur dann gibt ein binokulares Fernrohr die richtige Plastik, wenn bei n facher Vergrößerung auch die Basis durch Spiegelung in Prismen auf das n fache vergrößert wird.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde ist, wie wir in der Figur 33 (Seite 53) gesehen haben, der Sehwinkel α, unter dem ein Teil des Hintergrundes erscheint, für beide Augen derselbe, also auch der kleinste Sehwinkel φ. Für diesen haben wir also den Wert 1′ einzusetzen. r ist in diesem Falle gleich der Achsenlänge des untersuchten Auges = 15 mm. Die Basis ist, wie aus der Figur 4 (Seite 8) ersichtlich, annähernd gleich der Größe des Spiegelloches zu setzen, also = 4 mm. Es ergeben sich dann folgende Werte:

Längenminimum = arc φ . r = arc 1′ . 15 mm = 4,36 μ

Tiefenminimum = $\frac{\text{arc}\,\varphi\,.\,r^2}{0{,}4\,p} = \frac{\text{arc}\,1'\,.\,15}{0{,}4\,.\,4}$ mm = 40,9 μ

Stereoskopischer Quotient = $\frac{0{,}4\,p}{r} = \frac{0{,}4\,.\,4}{15} = 0{,}107$

Stereoskopische Entfernung = 60 cm.

Letzterer Wert wird so berechnet, daß wir fragen: In welcher Entfernung wird bei einem durchschnittlichen Augenabstande von 6,4 cm

bei binokularer Beobachtung ohne optische Instrumente der stereoskopische Quotient = 0,107? Wird dieselbe mit x bezeichnet, so ergiebt sich:

$$0{,}107 = \frac{6{,}4}{x} \qquad x = \frac{6{,}4}{0{,}107} = 60 \text{ cm.}$$

Zur Ermittelung derselben Werte für das umgekehrte Bild gehen wir auf Figur 34 (Seite 54) zurück. Dort sahen wir, daß der arc φ im Auge O einen dreimal so großen Wert als im Auge B hat, ferner, daß die Pupille von B dreifach verkleinert auf der Pupille von O abgebildet wird. Im ganzen handelt es sich also um ein dreimal verkleinerndes Fernrohr. Die Basis ist bei B gleich der Spiegelöffnung von 4 mm Durchmesser. Das Bild derselben wird also auf der Pupille von O nur $^4/_3$ mm Durchmesser haben. Für die zu untersuchenden Größen ergeben sich mithin folgende Werte:

$$\text{Längenminimum} = \text{arc } \varphi \,.\, r = \text{arc } 3' \,.\, 15 \text{ mm} = 13{,}08\ \mu$$

$$\text{Tiefenminimum} = \frac{\text{arc } \varphi \,.\, r^2}{0{,}4\ p} = \frac{\text{arc } 3' \,.\, 15^2}{0{,}4 \,.\, ^4/_3} \text{ mm} = 368{,}1\ \mu$$

$$\text{Stereoskopischer Quotient} = \frac{0{,}4\ p}{r} = \frac{0{,}4 \,.\, ^4/_3}{15} = 0{,}036$$

Stereoskopische Entfernung = 180 cm.

Es werden also Tiefenunterschiede 9 mal so schlecht erkannt wie im aufrechten Bilde. Dies bietet andererseits den bekannten Vorteil, daß Teile sehr verschiedener Prominenz gleichzeitig scharf erscheinen. Die Plastik ist so, als ob die Teile in 1,80 m Entfernung binokular mit bloßem Auge betrachtet würden, und da der Augenhintergrund an sich nur wenig prominente Teile besitzt, so sind praktisch so gut wie gar keine Tiefenunterschiede im umgekehrten Bilde wahrzunehmen. Anders wird dies bei der sogenannten parallaktischen Verschiebung, wo ja durch Bewegen der Linse die Eintrittspupille auf der Pupille des untersuchten Auges verschoben wird. Dies kann aber für die Konstruktion stereoskopischer Augenspiegel nicht maßgebend sein, da wir nur eine bestimmte Stelle der Austrittspupille gebrauchen können.

Bei dem im Kapitel III beschriebenen stabilen Augenspiegel mit reflexlosem Bilde ist $\angle\ \varphi$ so groß wie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, also = 1'. r ist hier = 15 mm, p = 8 mm, da die ganze halbe erweiterte Pupille von 8 mm Längsdurchmesser zur Verfügung steht. Für diesen Apparat haben wir also folgende Werte:

Längenminimum $= \text{arc}\,\varphi \,.\, r = \text{arc}\,1' \,.\, 15\ \text{mm} = 4{,}36\ \mu$

Tiefenminimum $= \frac{\text{arc}\,\varphi \,.\, r^2}{0{,}4\ p} = \frac{\text{arc}\,1' \,.\, 15^2}{0{,}4 \,.\, 8}\ \text{mm} = 20{,}45\ \mu$

Stereoskopischer Quotient $= \frac{0{,}4\ p}{r} = \frac{0{,}4 \,.\, 8}{15} = 0{,}213$

Stereoskopische Entfernung = 30 cm.

Wir sehen also, daß der stabile Augenspiegel das günstigste Tiefenminimum hat, das umgekehrte Bild das ungünstigste. In letzterem kann es etwas dadurch verbessert werden, daß die Spiegelöffnung grösser gewählt wird. So hat der Giraud-Teulon'sche Augenspiegel eine Oeffnung von 6 mm Durchmesser. Die Werte modifizieren sich also etwas für den Giraud-Teulon'schen Augenspiegel in folgender Weise:

Längenminimum $= \text{arc}\,\varphi \,.\, r = \text{arc}\,3' \,.\, 15\ \text{mm} = 13{,}08\ \mu$

Tiefenminimum $= \frac{\text{arc}\,\varphi \,.\, r^2}{0{,}4\ p} = \frac{\text{arc}\,3' \,.\, 15^2}{0{,}4 \,.\, {}^6/_3}\ \text{mm} = 245{,}4\ \mu$

Stereoskopischer Quotient $= \frac{0{,}4\ p}{r} = \frac{0{,}4 \,.\, {}^6/_3}{15} = 0{,}053$

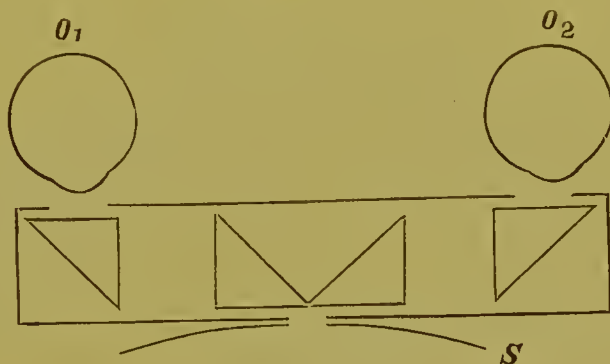
Stereoskopische Entfernung = 120 cm.

Die Konstruktion eines stereoskopischen Augenspiegels beruht nun analog wie die der stereoskopischen Mikroskope darauf, daß die optischen Grundlagen der Tiefenwahrnehmung (s. Seite 92) nicht verbessert werden, sondern daß sie nur auf 2 Augen verteilt werden, sodaß das spezifische Gefühl des Räumlichen in Tätigkeit treten kann. Es wird aber so tatsächlich gegenüber der monokularen Beobachtung ein grösserer Vorteil erzielt, da ein Auge durch die mangelnde Uebung nicht imstande ist, die optischen Grundlagen für die Tiefenwahrnehmung so gut zu verwerten, als wenn der Eindruck auf beide Augen verteilt wird. Es kommt dazu, daß dann auch das eine Auge ein Gefühl dafür haben müßte, ob sozusagen gleichnamige oder gekreuzte Zerstreuungskreise entstehen, da für beide der Netzhaut-Eindruck derselbe ist. Wir können also nur in den 3 beschriebenen Untersuchungsmethoden: dem aufrechten Bilde, dem umgekehrten Bilde und dem stabilen Augenspiegel mit reflexlosem Bilde, die Bilder durch bestimmte Vorrichtungen auf beide Augen verteilen. Die Grenzen für die Tiefenwahrnehmung sind dabei durch die oben berechneten Werte gegeben.

Die Vorrichtung, welche Giraud-Teulon in seinem Augenspiegel für das umgekehrte Bild anwendet, ist in der Figur 52 dargestellt. Hinter dem Spiegel S befindet sich ein kleiner Kasten, in dem 4 rechtwinklige total reflektierende Prismen angebracht sind, hinter deren beiden äusseren

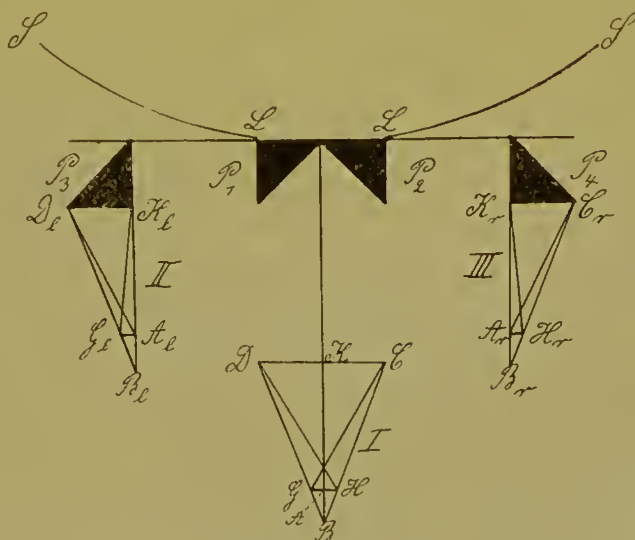
die beiden Augen des Beobachters O_1 und O_2 sich befinden. Das Bild wird an der Spiegelöffnung in 2 Hälften geteilt, deren jedes seitlich um die halbe Pupillardistanz verschoben wird. Jeder einzelne Strahl wird durch diese Vorrichtung parallel mit sich selbst entweder nach rechts

Figur 52.



oder nach links hin bewegt, sodaß beide Augen das Bild in derselben Richtung erblicken. Natürlich kann durch diese Vorrichtung die Basis selbst, nämlich die Spiegelöffnung und die von ihr sowie von den andern Bedingungen des umgekehrten Bildes abhängigen optischen Grundlagen der Tiefenwahrnehmung, nicht vergrössert werden.

Figur 53.



Was mit dem Zerstreuungskreise geschieht, können wir an der Figur 53 klar machen. Hier stellen P_1, P_2, P_3 und P_4 die 4 Prismen des Giraud-Teulon'schen Augenspiegels dar. L L ist die Fläche,

welche dem Untersuchten zugewandt ist, und welche gleichzeitig die Oeffnung des Spiegels S S vorstellt. Denkt man sich nun zunächst die 4 Prismen fort, so würde das Auge des Beobachters, welches in I steht, wie dies in der Figur 49 auseinander gesetzt war, von einem in einer gewissen Ebene befindlichen Punkte ein scharfes Bild A erhalten. G H stellt wieder den Zerstreuungskreis dar, welcher unter dem kleinsten Sehwinkel 1′ erscheint. Mithin ist B das Bild des Punktes, der gerade vor dem A zukommenden Objektpunkte gesehen wird. Wird nun statt des Auges I die Prismenvorrichtung angebracht, und befinden sich hinter den beiden äußeren Prismen P_3 und P_4 die beiden Augen II und III des Beobachters, so wird das ganze Dreieck D C B aus dem Auge I in die beiden Augen II und III verteilt, in der Weise, wie dies in der Figur gezeichnet ist. Da A_l und A_r korrespondierende Punkte sind, so kann man sie sich aufeinandergelegt denken, und man erhält dann für den Zerstreuungskreis G_l H_r genau dieselbe Größe, als wenn ein Auge sich in I ohne Prismenvorrichtung befände.

Die Einstellung für die Augendistanzen der verschiedenen Beobachter wird dadurch erzielt, daß das eine Prisma P_4 in horizontaler Richtung P_2 angenähert oder von ihm entfernt werden kann. Die stereoskopische Wirkung des Instrumentes habe ich schon auf Seite 98 auseinandergesetzt.

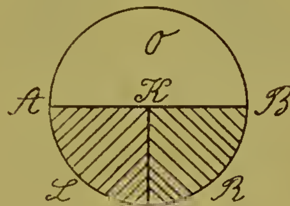
Könnte man den Giraud-Teulon'schen Augenspiegel im aufrechten Bilde verwenden, so würde die stereoskopische Wirkung eine erheblich bessere sein gemäß den günstigeren Bedingungen, die das aufrechte Bild für die Erkennung der Tiefendimension hat. Jedoch ist dies praktisch ganz unmöglich. Da ein Punkt nur dann stereoskopisch gesehen wird, wenn Strahlen des von ihm ausgehenden Bündels sowohl auf Teile des Spiegels als auch auf beide Prismen P_1 und P_2 auftreffen, so ist dies im aufrechten Bild, wo dies Bündel nur die Grösse der Pupille hat, fast niemals zu erreichen, und wenn es für Momente gelingt, so ist das stereoskopische Gesichtsfeld etwa nur von der Breite eines Gefäßes.

Es bleibt also noch übrig, die optischen Grundlagen der Tiefenwahrnehmung bei dem stabilen Augenspiegel mit reflexlosem Bilde, welche sehr günstige sind — das Tiefenminimum war, wie wir berechnet hatten, 20,45 μ — für die stereoskopische Betrachtung zu verwerten. Natürlich mußte auch hier das Bild in 2 Teile geteilt werden. Dies konnte nun entweder dicht vor der Pupille des Beobachteten geschehen oder aber in dem Bilde derselben, d. h. vor dem Auge des Beobachters. Beide Konstruktionen habe ich durchgeführt. Die erste bildet den stereoskopischen

Augenspiegel, die zweite das stereoskopische Okular[1]). Ich werde nun diese beiden Instrumente beschreiben. Ueber die Theorie ihrer Wirkung ist nicht mehr viel hinzuzusetzen, da diese schon ausführlich behandelt war. Die Werte Längenminimum, Tiefenminimum, stereoskopischer Quotient und stereoskopische Entfernung haben dieselbe Größe wie beim monokularen reflexlosen Augenspiegel.

Bei dem stereoskopischen Augenspiegel mußte diejenige Hälfte der Pupille, welche zur Beobachtung dient, noch einmal in ein rechtes und linkes Viertel geteilt werden. Da nun die Augen des Beobachters links und rechts stehen, so mußte auch die Beobachtungshälfte der Pupille in der horizontalen Richtung die größere Basis haben, folglich das Licht durch die obere Pupillenhälfte eintreten. Die Benutzung der Pupille geschieht also so, wie dies in der Figur 54 dargestellt ist. O ist die Beleuchtungshälfte, L das Viertel für die Beobachtung des linken Auges,

Figur 54.

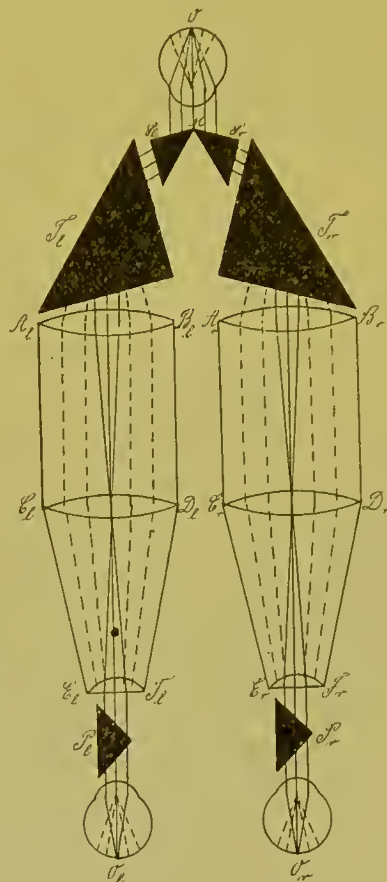


R dasjenige für die Beobachtung des rechten Auges. A B scheidet Beobachtungs- von Beleuchtungshälfte. Die Beleuchtung geschieht nun genau, wie dies in Kapitel III beschrieben war, durch ein total reflektierendes Prisma nebst Beleuchtungsrohr und halbmondförmiger Blende. In K stoßen also 3 Prismen zusammen. Der Strahlengang für den stereoskopischen Augenspiegel ist in der Figur 55 dargestellt, während Figur 56 eine äußere Ansicht des Instrumentes gibt. Die Lichtquelle befindet sich hier oberhalb der beiden Beleuchtungsrohre, von ihr fällt das Licht durch das schräg nach unten geneigte Beleuchtungsrohr auf das Prisma O (Figur 54) und tritt dann durch die obere Pupillenhälfte in das Auge des Untersuchten O (Figur 55) ein. In der Figur 55 ist dieses Beleuchtungsrohr, da die Zeichnung einen Durchschnitt durch die Mitte der Beobachtungsrohre darstellt, schräg oberhalb der Zeichnungs-

1) Vergl.: Ein stereoskopisches Okular zu meinem reflexlosen Augenspiegel. Archiv f. Augenheilkunde. Band XLVII, Heft 2 u. 3.

ebene zu denken. Das Licht, welches aus der unteren Pupillenhälfte zurückkehrt, trifft nun zunächst auf die beiden kleineren total reflektierenden Prismen S_l und S_r auf. Dieselben dürfen nicht rechtwinklig stehen, sondern schräg wie in der Figur, da sonst das Gesichtsfeld auf der einen Seite abgeschnitten wird. Nachdem die Strahlen soweit auseinander getreten sind, daß sie die Pupillendistanz des Beobachters erreicht haben, treffen sie die sehr großen Prismen T_l und T_r und werden hier wieder der Anfangsrichtung parallel gemacht. Die Prismen T_l und

Figur 55.



T_r müssen ebenfalls schräg und parallel S_l und S_r stehen. Die Beobachtungsrohre sind nun wieder genau wie die des monokularen reflexlosen Augenspiegels gebaut. Sie bestehen aus den 3 Linsen A_l B_l, C_l D_l und E_l F_l resp. A_r B_r, C_r D_r und E_r F_r. Die ausgezogenen Linien in der Mitte deuten den Verlauf des von dem Punkte O kommenden Strahlenbündels an. Dasselbe hat 2 Vereinigungspunkte in den Linsen C_l D_l und C_r D_r.

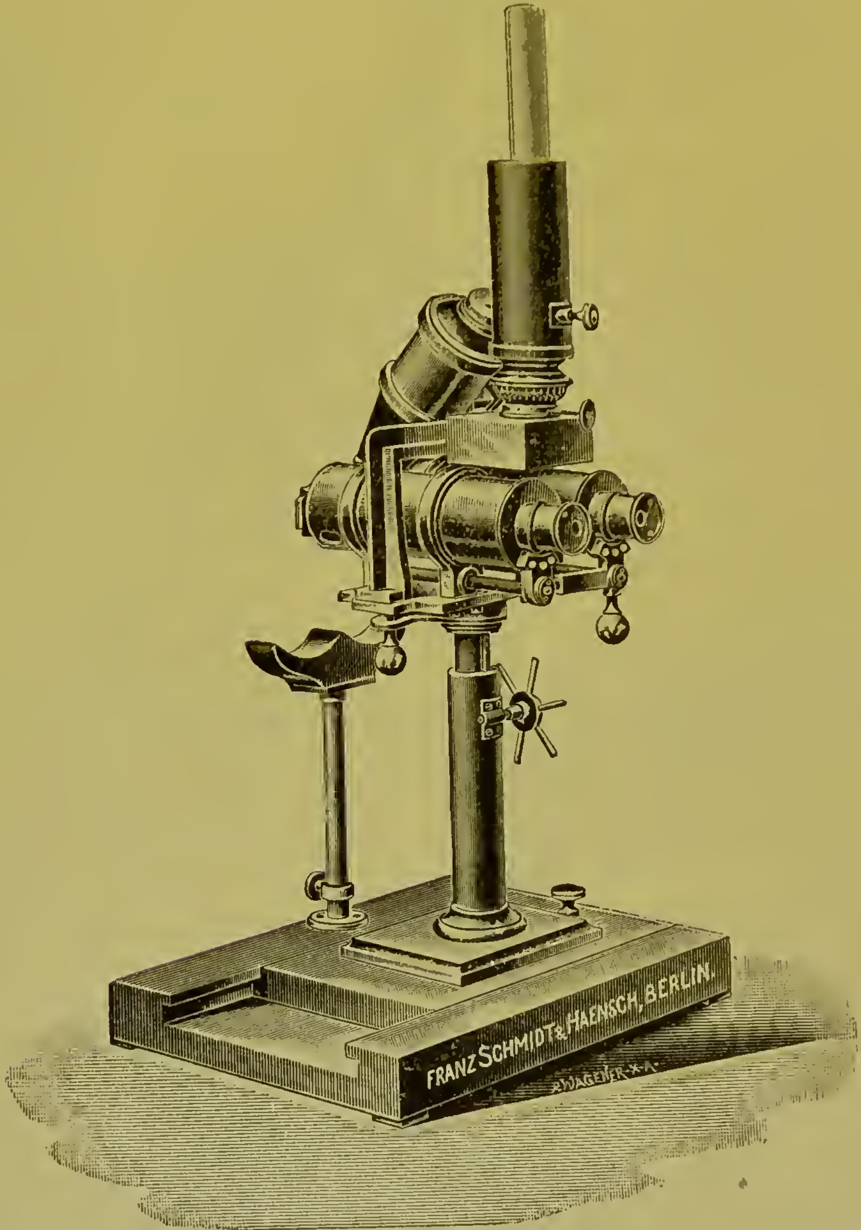
Das Bild, das durch die beiden Beobachtungsrohre direkt erhalten

werden würde, müßte nun eine pseudoskopische Wirkung haben. Unter pseudoskopischer Wirkung versteht man bekanntlich den Eindruck, der entsteht, wenn dem rechten Auge das für das linke bestimmte Bild und umgekehrt zugeführt wird. Dieselbe pseudoskopische Wirkung entsteht dann, wenn zwar jedes Auge das richtige Bild sieht, aber jedes Bild durch ein optisches System umgekehrt wird, oder auch wenn jedes Bild in der Richtung von links nach rechts sich spiegelt. Man erhält z. B. schon dann eine pseudoskopische Wirkung, wenn man vor jedes Auge einen Spiegel hält, diese beiden Spiegel parallel stellt und denselben Punkt in beiden betrachtet. Anders ist es, wenn beide Augen in demselben Spiegel einen Gegenstand betrachten, weil dann die Basis der beiden Augen durch den Spiegel auch umgedreht wird. Bei dem in Figur 55 dargestellten Apparat wird nun zwar jedem Auge das richtige Bild zugeführt, da dasselbe aber ein umgekehrtes Bild ist, muß die Wirkung eine pseudoskopische sein. Dies kann man dadurch wieder aufheben, daß man jedes Bild in einem Spiegel von rechts nach links umdreht. Am besten erreicht man dies durch die beiden Umkehrprismen P_l und P_r. Diese sind total reflektierende Prismen, deren Hypotenuse senkrecht und parallel der optischen Achse steht. Gegenüber den Spiegeln haben sie den Vorteil, daß sie die Richtung des Lichtes nicht ändern, während man dies durch einen Spiegel nicht erzielen kann.

Es sind ferner an dem Instrument eine Anzahl mechanischer Vorrichtungen notwendig, zunächst dieselben Schrauben zur Bewegung wie an dem monokularen reflexlosen Apparat. Ferner müssen gleichzeitig beide Rohre aus- und eingeschoben werden können, um sich den verschiedenen Refraktionszuständen des Untersuchten anzupassen. Ausserdem ist noch eine Vorrichtung zur Einstellung auf die verschiedenen Pupillenweiten der Beobachter notwendig, welche mechanisch recht kompliziert ist, da die beiden Beobachtungsrohre parallel mit sich selbst verschoben werden müssen, und zwar so, daß die großen Prismen T_l und T_r sich mitverschieben. Diese Bewegung darf aber nicht einfach seitwärts gehen, sondern muß in der Richtung der zwischen den Prismen S_l und T_l resp. S_r und T_r verlaufenden Strahlen erfolgen. Sehr kompliziert ist auch bei dem Instrument die Suchervorrichtung, auf die ich hier nicht näher eingehen will. Die Wirkung, welche dieser stereoskopische Augenspiegel hervorbringt, ist eine sehr plastische. Man vermag deutlich bei der normalen physiologischen Exkavation die Aushöhlung zu erkennen, man sieht sogar, daß die Gefäße nicht einfach auf der Chorioidea aufliegen, sondern daß dazwischen eine durchsichtige Schicht sich befinden muß, nämlich die durchsichtige Netzhaut. Die Gefäße scheinen über dem

Untergrund der Chorioidea in der Luft zu schweben. Denselben Eindruck hat man bei Pigmenteinwanderung in die Netzhaut, man sieht auch da das Pigment gleichsam vor dem helleren Untergrunde schweben.

Figur 56.

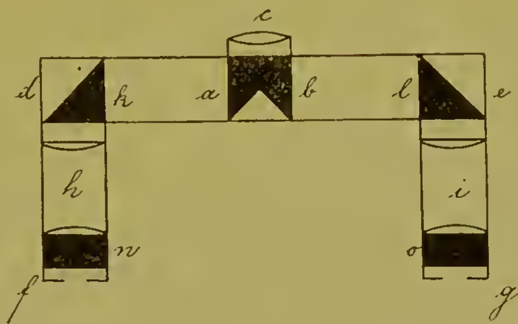


Versuchsweise hatte ich bei diesem Instrument eine stärkere Vergrößerung als das aufrechte Bild, nämlich eine $1^1/_2$ fach so starke, d. h. eine 24 fache des ophthalmoskopischen Bildes verwandt. Obgleich das Tiefenminimum dadurch sich verringert, möchte ich doch am meisten die 16 fache

Vergrößerung empfehlen, da erstens im Quadrat der Vergrößerung die Helligkeit abnimmt, zweitens im selben Maße die Empfindlichkeit gegen die geringsten Trübungen der brechenden Medien sich steigert, so daß dadurch die Anwendungsfähigkeit des Instrumentes verringert wird.

Die zweite Möglichkeit, den stabilen reflexlosen Augenspiegel zum stereoskopischen Sehen zu verwenden, beruht darauf, den Apparat, wie er in Figur 39 dargestellt ist, zu belassen und nur vor dem Beobachtungsrohr ein Okular anzubringen. Dieses Okular hat praktisch vor dem vorigen Instrument den Vorteil, daß man mit seiner Hilfe denselben Apparat, den man zur Demonstration, zur Refraktionsbestimmung und zur Photographie verwendet, auch für die stereoskopische Beobachtung benutzen kann, während der stereoskopische Augenspiegel für die anderen Zwecke nicht verwendbar ist.

Figur 57.



Eine Schwierigkeit für die Konstruktion des Okulars entsteht nun dadurch, daß ja die Basis von oben nach unten im Beobachtungsrohr liegt. Man kann also nicht eine solche Prismenanordnung wie im Giraud-Teulon'schen Augenspiegel wählen, sondern die Anordnung muß in der Weise, wie es in Figur 57 dargestellt ist, geschehen. Diese Figur ist als ein horizontaler Durchschnitt durch die Mitte des Okulars zu denken. Vor der halbmondförmigen Oeffnung des Okulars des Augenspiegels stehen 2 total reflektierende Prismen a und b. a ist unterhalb der Zeichnungsebene liegend zu denken, b liegt unmittelbar über a oberhalb der Zeichnungsebene. Durch diese beiden Prismen werden die Strahlen nach rechts und links abgelenkt, um, wenn ihre Distanz gleich der Augendistanz des Beobachters geworden ist, in 2 anderen Prismen k und l wieder parallel der Anfangsrichtung nach den Augen des Beobachters zu reflektiert zu werden. Die Prismen brauchen hierbei nicht wie bei dem stereoskopischen Augenspiegel schräg gestellt zu werden, weil ja die aus der Mitte des Bildes kommenden Strahlen auch auf die Mitte der

Hypotenuse von a und b (da, wo beide Prismen sich scheinbar schneiden) auftreffen und ebenso wieder auf die Mitte der Hypotenuse von k und l. Würde man nun allein diese 4 Prismen a, b, k und l verwenden, so würde dadurch das ganze Gesichtsfeld sehr verengt werden, da der Weg zwischen diesen Prismen gewissermaßen eine Röhre bildet, durch welche der Beobachter hindurch sehen muß. Beim Giraud-Teulon'schen Augenspiegel wird durch diese Röhre das Gesichtsfeld nicht merklich gestört, weil das Gesichtsfeld des umgekehrten Bildes an sich sehr klein ist. Hier dagegen, wo es sich um ein sehr großes Gesichtsfeld handelt, würde ein großer Teil desselben fortfallen. Das Bild muß daher noch einmal durch ein optisches System, das wiederum ein astronomisches Fernrohr mit der Vergrößerung 1 darstellt, abgebildet werden und zwar so, daß die Austrittspupille, welche bei c liegt, noch einmal in f und g, dicht vor dem Auge des Beobachters abgebildet wird. Dieses System besteht aus einem achromatischen Objektiv c und dem Okular h resp. i. Auf diese Weise sieht man, wenn man in das Okular hineinsieht, ein nunmehr aufrechtes Bild des Augenhintergrundes von etwa 3 Papillenbreiten Durchmesser und der Vergrößerung des aufrechten Bildes.

So wie es jetzt beschrieben ist, würde dem Okular noch ein prinzipieller Fehler anhaften. Dem linken Auge wird das Bild aus dem unteren und dem rechten Auge aus dem oberen Viertel der Pupille zugeführt. Auf Punkte verschiedener Tiefe müßte dann dadurch eingestellt werden, daß die Augen Bewegungen von oben nach unten machten. Statt der physiologischen Doppelbilder, welche rechts und links von den korrespondierenden Punkten liegen, würden hier die Doppelbilder nach oben und unten fallen. Das ergibt aber keinen stereoskopischen Eindruck. Es ist deshalb notwendig, das Bild um 90° zu drehen, so daß es auf der Seite zu liegen scheint. Dann fallen die Doppelbilder, wie dies physiologisch richtig ist, nach rechts und links, und man erhält den natürlichen stereoskopischen Eindruck. Damit keine pseudoskopische Anordnung getroffen wird, braucht man sich nur an die Lage der Austrittspupillen zu halten. Dieselben stellen Viertelkreise dar und müssen in den beiden Beobachtungsrohren des Okulars so liegen, daß sie sich, wenn man sie aneinander gerückt denkt, zu einem Halbkreise ergänzen. Figur 58 gibt die 4 möglichen Lagen der Austrittspupillen an, welche dann entstehen, wenn bei gleicher Bildlage in den beiden Gesichtsfeldern das linke Bild oben oder das rechte oben liegt und wenn einmal die Drehung des Bildes nach links, das andere Mal nach rechts geschieht. Die Stellungen in Figur 58 a und b ergeben eine

richtige stereoskopische Wirkung. In dem Falle b liegt das Bild gegen a um 180° gedreht, c und d würden dagegen pseudoskopische Wirkungen zur Folge haben.

Es könnte nun als ein Fehler erscheinen, daß das Bild sich nicht in aufrechter Lage befindet. Man muß aber bedenken, daß es sich beim Augenhintergrunde um ein Objekt handelt, welches wir nicht mit bloßem Auge zu sehen gewohnt sind. Es stört uns zwar sehr, wenn wir eine Landschaft oder eine Person auf dem Kopf abgebildet sehen, dagegen ist uns bei Besichtigung eines mikroskopischen Präparates oder eines

Figur 58.



astronomischen Objektes die Lage desselben in dem optischen Instrumente ganz gleichgültig. Dasselbe ist auch bei dem Augenhintergrunde der Fall. Da wir ihn für gewöhnlich doch nicht sehen, so gewöhnen wir uns ebenso gut daran, ihn für diese Betrachtung auf der Seite liegend zu sehen, als an das umgekehrte Bild. Der Eindruck ist ein solcher, als wenn wir eine Person ophthalmoskopieren, die auf der Seite liegt.

Es wäre noch zu besprechen, auf welche Weise die Drehung um 90° hervorgebracht wird. Zu diesem Zwecke ist in der Figur 57 je ein Prisma n und o vor der Oeffnung f und g angebracht. Dieses Prisma liegt ähnlich wie das Prisma P_l resp. P_r in der Figur 55 auch mit seiner Hypotenuse parallel der optischen Achse, nur steht diesmal die Hypotenuse nicht senkrecht, sondern liegt um 45° schräg zwischen horizontaler und vertikaler Ebene. Die Hypotenusenflächen der beiden Prismen müssen parallel stehen, aber nicht senkrecht aufeinander, damit auch die Drehung des Bildes in beiden Rohren nach derselben Seite geschieht. Statt ein solches Umkehrungsprisma zu verwenden, ist es für

die Konstruktion von gewissem Vorteil, eine Kombination aus 3 Prismen zu gebrauchen, welche an derselben Stelle wie das eine Prisma so angeordnet werden, daß die optische Achse jede Kathetenfläche senkrecht trifft und auf die Mitte der Hypotenusen fällt. Das eine der Prismen muß dann die Strahlen von links nach rechts, das zweite von oben nach unten und das dritte wieder von hinten nach vorn reflektieren. Die stereoskopische Wirkung dieses Okulars ist natürlich genau dieselbe wie die des vorher beschriebenen stereoskopischen Augenspiegels.

VI. Die Photographie des Augenhintergrundes.

Da die Photographie in ihrer weiteren Entwickelung auf allen wissenschaftlichen Gebieten die Zeichnung allmählich ersetzte, so ist es natürlich, daß man ihre Anwendung auch für die Ophthalmoskopie wünschte. Der Nutzen, den hierbei die Photographie darbietet, ist verhältnismäßig gegenüber der Zeichnung ein sehr großer. Es ist bekannt, welchen Schwierigkeiten die Zeichnung eines ophthalmoskopischen Befundes begegnet. Die dauernde Beweglichkeit des Auges, die Notwendigkeit, für jeden einzelnen Teil von neuem einzustellen, die Ermüdung und die Empfindlichkeit des Patienten gegen die lange Blendung macht das Zeichnen zu einer sehr unangenehmen und beschwerlichen Aufgabe. Um ein gutes Abbild zu erhalten, sind viele Stunden, ja Tage notwendig. Wie viel Mühe würde es sparen, wenn die Photographie in einem Augenblick dasselbe und noch sehr viel Besseres leisten könnte!

So sind die Versuche, den Augenhintergrund zu photographieren, schon bald nach Erfindung des Augenspiegels begonnen worden. Zuerst hören wir von solchen aus dem Jahre 1862. Sie wurden von Noyes in New-York und Sinclair in Toronto (Canada) angestellt, jedoch führten sie zu keinem Resultat. 1864 konstruierte Rosebrugh einen besonderen Apparat, der aus zwei sich rechtwinklig schneidenden Röhren bestand. An dem Schnittpunkt war eine Glasplatte angebracht, welche das Licht aus der einen Röhre empfing und durch die andere auf das Auge leitete. In diesem Rohre befand sich eine Konvexlinse, die ein umgekehrtes Bild vom Augenhintergrunde entwarf, das dann durch eine photographische Kamera auf der lichtempfindlichen Platte abgebildet wurde.

Zur Beleuchtung diente Sonnenlicht. Diese Versuche scheiterten hauptsächlich an den sehr starken Reflexen, die sich an der Glasplatte und der Hornhaut des Auges bildeten. Es ist ferner unter die der Photographie dienenden Apparate Liebreich's großer stabiler Augenspiegel zu rechnen, mit dem vielfache Versuche angestellt wurden. Noch in neuester Zeit (1903) sind von Nicolaew mit diesem Instrument Bilder von dem Augenhintergrund einer Katze erzielt worden, freilich unter ganz besonderen Versuchsbedingungen. Von Liebreich ist noch ein anderer Vorschlag zur Photographie zu erwähnen, nämlich das Auge mittelst eines stark gekrümmten Hohlspiegels zu beleuchten, in dessen Mitte sich eine Oeffnung befand, hinter der unmittelbar die photographische Kamera folgen sollte. Im Jahre 1884 berichtete Dor in Lyon über Versuche, die er mit elektrischem Lichte angestellt hatte. Um dieselbe Zeit wurde von Perrin, Jackmann und Wersbert auf diesem Gebiete gearbeitet. 1887 wurde zuerst der von Gaedieke und Miethe erfundene Magnesiumblitz als sehr brauchbare Lichtquelle zur Photographie des Auges von Claude du Bois-Reymond angewandt, zwar nicht zur Photographie des Augenhintergrundes, sondern zu Studien über die Größe der Pupille im Dunkeln. Im Juni 1893 berichtete Claude du Bois-Reymond über weitere Versuche, die er mittels Magnesiumblitzlicht gemeinsam mit Arthur König und Richard Greeff unternommen hatte, um die Größe der Pupille bei den verschiedenen Konvergenzzuständen und bei verschiedener Intensität des einfallenden Lichtes genau zu messen. Es bewährte sich hier vorzüglich die Eigenschaft des Magnesium-Blitzlichtes, genügend intensives Licht zu liefern, in so kurzer Zeit, daß dabei eine Reaktion des Auges ausgeschlossen ist. Andererseits wird das Auge auch nicht vor der eigentlichen Aufnahme beleuchtet, wie dies bei elektrischem Licht und Aufnahme mittels Momentverschluß notwendig wäre. Dieselben Eigenschaften geben auch für die Photographie des Augenhintergrundes dem Magnesium-Blitzlicht seine hervorragende Bedeutung, und mit dieser Lichtquelle sind sämtliche Aufnahmen, die dieser Arbeit beigegeben sind, angefertigt. Im Jahre 1888 wurde auf dem internationalen Kongreß zu Heidelberg ein von Howe und Starr angefertigtes Bild gezeigt, das mit rot empfindlichen Platten aufgenommen worden war. Die vielen bisherigen Mißerfolge wurden von diesen Autoren auf die Unempfindlichkeit der gewöhnlichen Platten für die roten Strahlen des Augenhintergrundes geschoben. Das Bild war jedoch nicht ganz scharf und zeigte noch einen erheblichen von der Hornhaut herrührenden Reflex. Auf demselben Kongreß veröffentlichte Hermann Cohn in Breslau seine Erfahrungen. Er sagt, daß er seit 23 Jahren Versuche über diesen Gegenstand unter-

nommen habe, daß es ihm auch nur gelungen sei, den im Phantom gemalten Sehnerven schnell zu photographieren, und er stellt als die Hauptschwierigkeiten zusammen: die Beweglichkeit des Auges, den Hornhautreflex, den Durchtritt des Lichtes durch Spiegel und Linse, die Blendung des Auges und die momentan richtige Einstellung. Er empfiehlt den Magnesiumblitz als geeignete Lichtquelle und gibt eine neue Konstruktion einer Magnesiumblitzlampe an. Gleichzeitig empfahl er eine Vorrichtung, um die Einstellung des Augenhintergrundes während der Aufnahme zu ermöglichen. Hinter dem photographischen Objektiv waren 2 Prismen angebracht, die 2 genau gleiche Bilder desselben Gegenstandes entwarfen, wovon das eine zur Photographie benutzt wurde, das andere zur Beobachtung diente. Von anderen Versuchen, die in diese Zeit fallen, sind noch zu erwähnen solche von Leroy, Reuss, Hope in St. Petersburg und Galezowski in Frankreich. Einen andern Weg als bisher, der schon früher von anderen für die Ophthalmoskopie verwendet worden war, schlug Bagnéris in Nancy ein. Er benutzte nur die Hälfte der Pupille zur Beleuchtung, indem er mittels eines gleichseitigen Prismas Licht auf dieselbe reflektierte, das von einer Konvexlinse konvergent gemacht war. Die andere Hälfte der Pupille diente zum Lichtaustritt, und diese Strahlen wurden von einem Objektiv auf der photographischen Platte vereinigt. Ich habe bereits vorher (Kapitel II) ausführlich auseinandergesetzt, warum diese Halbteilung allein die Reflexe zu beseitigen nicht imstande war. Dann veröffentlichte Eugen Fick auf dem Kongress zu Heidelberg 1891 seine Versuche. Als Ursache der vielen Mißerfolge bezeichnet er 3 Umstände: die notwendige optische Vergrösserung des Bildes, die die optischen Fehler des Systems mitvergrößert, die chemisch geringe Wirksamkeit der in Betracht kommenden hauptsächlich gelben und roten Strahlen, und drittens die Hornhautreflexe; letztere beseitigte er durch Bedecken der Hornhaut mit einer auf der andern Seite eben begrenzten Wasserschicht nach dem Prinzip von Czermak's Orthoskop. In demselben Jahre wurden in der Berliner physiologischen Gesellschaft von Cl. du Bois-Reymond die Resultate bekannt gemacht, welche Gerloff unter Beihilfe von Meissner in Göttingen gefunden hatte. Als Lichtquelle wurde Zirkonlicht benutzt. Zur Vermeidung des Hornhautreflexes wurde eine mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllte Kammer vor dem Auge angebracht. Durch einen Spiegel mit großer Oeffnung wurde das Licht auf das Auge reflektiert und durch diese Oeffnung hindurch die zurückkehrenden Strahlen auf der Platte vereinigt. Das Verfahren ist in Zehenders Klinischen Monatsblättern Band XXIX Seite 397 genau beschrieben und ein danach angefertigtes Bild beigelegt. Dasselbe zeigt in

voller Deutlichkeit die Papille und die von ihr ausgehenden Gefäße. Im Jahre 1893 stellte Guilloz in Nancy in der Weise Versuche an, daß er keinen Augenspiegel anwandte, sondern nach dem alten Helmholtz'schen Prinzip die Lichtquelle dicht neben der Kamera anbrachte und das umgekehrte Bild photographierte. 1896 behandelte ich dann ausführlich die Frage der Photographie des Augenhintergrundes in meiner Dissertation. Nach Erklärung der in Betracht kommenden optischen und technischen Schwierigkeiten gab ich einen Apparat zur Photographie des Augenhintergrundes an, welcher im Wesentlichen der Anordnung bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde entsprach. Der Arbeit waren 4 Photographien beigegeben. Die eine betraf den Augenhintergrund eines albinotischen Kaninchens, welcher mit Magnesium-Blitzlicht aufgenommen war, die 3 andern sind Photographien der Papillen dreier normaler menschlicher Augen. Dieselben lassen zwar schon deutlich das Objekt, um das es sich handelt, erkennen, sind aber andererseits nur zum kleinen Teil beleuchtet und werden noch sehr durch den an der Beobachtungslinse sowie an der Hornhaut auftretenden Reflex gestört.

Fassen wir alle die bisher gewonnenen Resultate gemeinsam zusammen, so läßt sich über dieselben das abschließende Urteil abgeben, daß es hin und wieder gelungen ist, einen Teil des Augenhintergrundes photographisch abzubilden, daß aber erstens die Methoden so schwierige waren, daß es meist selbst demselben Untersucher nicht gelang, ein gutes Bild zum zweiten Male zu erhalten, und daß zweitens die Bilder auch nicht im entferntesten mit einer Zeichnung wetteifern konnten, sodaß sie zwar wissenschaftlich interessant, aber praktisch nicht verwertbar waren.

Der Grund für diese mangelnden Erfolge lag hauptsächlich daran, daß die bis dahin bestehenden Methoden der Untersuchung des Augenhintergrundes, welche in Kapitel I ausführlich dargestellt worden sind, nämlich die Untersuchung im aufrechten und im umgekehrten Bilde, zwar für die subjektive Beobachtung geeignet sind, aber nicht ein Bild erzeugen, das die erforderlichen Eigenschaften für die photographische Wiedergabe besitzt. Hier waren es drei Umstände, die beseitigt werden mußten: das kleine Gesichtsfeld, die störenden Reflexe und die mangelnde Stabilität des Bildes. Wenn man auch bei der subjektiven Beobachtung die einzelnen Bilder zu einem Gesamtbild aneinander reiht, so ist dies für die photographische Platte nicht möglich. Hier muß das Bild gleichzeitig in allen Teilen erscheinen. Der Reflex, welcher stets bei der Ophthalmoskopie auftrat, machte das Photographieren fast unmöglich. Der Beobachter kann mehr von ihm abstrahieren, während er seine Auf-

merksamkeit auf das übrige Bild richtet. Für die photographische Platte dagegen ist er das bei weitem lichtstärkere Objekt und gewinnt gegenüber dem eigentlichen Bilde eine hervorragende Bedeutung. Endlich kann man den fortwährenden Bewegungen des Patienten mit den in der Hand gehaltenen Instrumenten leicht folgen, während dies mit der photographischen Kamera nicht mehr möglich ist.

Im Dezember 1898[1]) beschrieb ich dann das Instrument, welches ausführlich in Kapitel III behandelt worden ist. Es war bei diesem Apparat zum ersten Mal die Aufgabe gelöst worden, den Hornhaut- und Linsenreflex des Auges, sowie die störenden Reflexe an den Linsen, die zur Beobachtung dienen, für das ganze Bildfeld auszuschalten. Dadurch gelang es, das Gesichtsfeld auf etwa 36° zu vergrößern, während die Vergrößerung des aufrechten Bildes, also eine 16 fache Linearvergrößerung, beibehalten werden konnte. Gleichzeitig ist das Bild genügend stabil gemacht, um auch in der photographischen Kamera für längere Zeit entworfen zu werden. Obgleich zunächst photographische Aufnahmen noch nicht mit dem Instrument gemacht wurden, so schienen dadurch doch die notwendigen Vorbedingungen für eine photographische Wiedergabe vorhanden zu sein, und es war zu erwarten, daß die Photographie mit diesem Instrumente keinen großen Schwierigkeiten mehr begegnen könnte. Trotzdem war die Aufgabe nicht so leicht, als ich sie mir vorgestellt hatte. Nach vielfachen Versuchen, die von Zeit zu Zeit mit dem Apparate angestellt wurden, war ich erst im September 1902[2]) in der Lage eine Methode anzugeben, mit der an sehr hellem Augenhintergrunde, wie z. B. bei dem tapetumhaltigen Auge der Katze, eine brauchbare Photographie erzielt werden konnte, und erst jetzt[3]) ist es mir gelungen, diese Methode auch für den Menschen verwertbar zu machen.

In der Zeit nach der Publikation meines Augenspiegels hat noch Dimmer in Graz Versuche über diesen Gegenstand angestellt. Die Resultate sind auf den ophthalmologischen Kongressen zu Utrecht 1899, Heidelberg 1901 und 1902 dargelegt. In den letzten beiden Berichten sind auch die von ihm gewonnenen Bilder veröffentlicht.

Der Apparat, den Dimmer benutzt hat, ist optisch nur sehr wenig von dem in Kapitel III beschriebenen Instrumente verschieden. Was nun seine Versuche anbetrifft, so bin ich, wie aus den weiteren Ausführungen

1) No. 98 der Deutschen Medizinalzeitung vom 8. Dezember 1898.

2) Zur Photographie des Augenhintergrundes. Berliner klinische Wochenschrift. 1902. No. 43.

3) Vgl. Verhandl. der physiol. Ges. zu Berlin. XIII. Sitzung am 8. Mai 1903.

ersehen werden kann, zu erheblich abweichenden Resultaten gelangt. Die Lichtmenge, die Dimmer verwandt hat, war, besonders wegen der ungünstigen Ausnutzung der zur Beleuchtung dienenden Pupillenhälfte (s. S. 50; die Figur 31 und 32 entspricht Dimmer's Anordnung) im Vergleich zu der bei meinen Bildern erforderlichen eine bedeutend geringere; die Belichtungszeit war zum Teil eine sehr lange, während ich nur bei der allerkürzesten Expositionszeit unter $^1/_{15}$ Sekunde schleierfreie Bilder erhalten konnte. Das elektrische Bogenlicht erwies sich für mich nicht als praktisch geeignete Lichtquelle, und endlich war es mir unmöglich, die Bilder gleichmäßig zu beleuchten, sondern dieselben nahmen nach den Seiten stark an Helligkeit ab, aus Gründen, welche ich in Kapitel II (Seite 47) ausführlich erörtert habe.

Woher diese Abweichungen in unseren Versuchsresultaten stammen, werde ich erst feststellen können, wenn der Dimmer'sche Apparat der Oeffentlichkeit zur Verfügung steht.

Endlich sind noch die Arbeiten von Nicolaew zu erwähnen, die in Pflüger's Archiv für Physiologie, Bd. 80, S. 236—237, 1900 und Bd. 93, Heft 11 und 12, 1903, erschienen sind. Nicolaew benutzte zur Photographie Liebreich's großen stabilen Augenspiegel und hat Aufnahmen vom Augenhintergrunde der Katze gemacht. Die im Jahre 1900 publizierten Bilder sind noch ziemlich unscharf, die 1903 veröffentlichten dagegen schon recht gut, wenn sie auch nicht ganz frei von Reflexen sind. Die Methode bestand darin, daß 15 Sekunden bei Gasglühlichtbeleuchtung exponiert wurde und die absolute Unbeweglichkeit des Tieres durch Vergiftung mit Curare gesichert war. Zur Erhaltung des Lebens mußte während der ganzen Versuchsdauer Luft in die Lungen geblasen werden. Obgleich es gewiß von Interesse ist, daß sich unter solchen Umständen Zeitaufnahmen machen lassen, ist doch diese Methode für eine weitere Anwendung nicht geeignet.

Ich will nun zunächst auf die Anordnung, welche ich in der Berliner klinischen Wochenschrift 1902, No. 43 beschrieben habe und die zum Photographieren des Augenhintergrundes bei Tieren mit Tapetum diente, etwas ausführlicher eingehen. Daß diese Versuche zuerst bei dem Auge der Katze gelangen, hat seinen Grund darin, daß das Bild hier ganz bedeutend lichtstärker ist, wie beim menschlichen Auge. Durch Vergleichung mit einem künstlichen Modell ließ sich feststellen, daß der Augenhintergrund der Katze durchschnittlich 50—100 mal so viel photographisch wirksames Licht aussendet, als der des Menschen. Die überwiegende Helligkeit des ersteren stammt von dem stark lichtreflektierenden Tapetum, welches sich hinter der Netzhaut befindet und

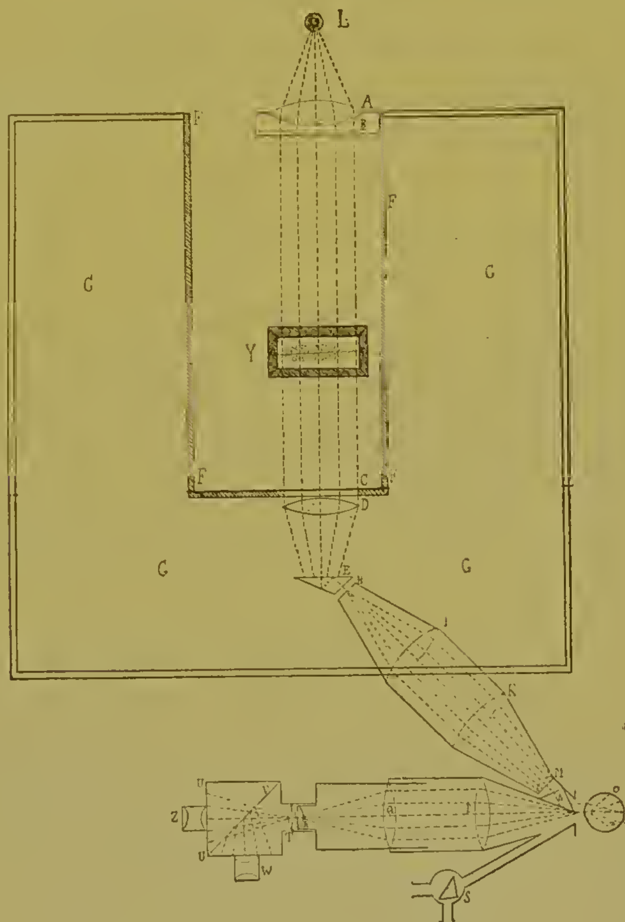
welches bekanntlich dem Tiere dazu dient, noch bei sehr geringer Beleuchtung Gegenstände wahrzunehmen, indem die Strahlen von ihm zurückgeworfen werden und zum zweiten Male durch die Netzhaut ihren Weg nehmen. Ein solches Tapetum findet sich bei vielen unserer Haustiere, ferner bei sämtlichen Raubtieren. Für das Auge der Katze erwies sich nun der Magnesiumblitz als eine ausreichende und praktisch sehr geeignete Lichtquelle. Derselbe wurde erzeugt durch Abbrennen einer explosiblen Mischung von 0,6 g Magnesium, 1,2 g chlorsaures Kali und 0,2 g Schwefelantimon. Die Verbrennungsdauer derselben ist eine sehr kurze, etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_{30}$ Sekunde, so daß die Bewegungen, die das Tier nach dem Aufblitzen macht, erst nach dem Aufhören der Lichterscheinung zustande kommen.

Die wichtigste Aufgabe besteht nun darin, eine Anordnung zu treffen, bei der der Magnesiumblitz abgegeben werden kann, ohne die Person und die Apparate zu schädigen, und bei der eine Einstellung des Bildes noch unmittelbar vor der Aufnahme möglich ist. Wählt man die Anordnung so, daß die zur Einstellung dienende Lampe kurz vor dem Zünden des Blitzes entfernt werden muß, so ist es nicht zu vermeiden, daß in dieser kurzen Zeit Verschiebungen des Auges eintreten. Andererseits darf die Einstellungslampe nicht während der Aufnahme weiter brennen, da sie ja für die Strahlen des Magnesiumblitzes nicht durchgängig ist. Diese Schwierigkeit läßt sich nur so umgehen, daß der Magnesiumblitz in dem Raume zwischen der Petroleumlampe und der Eintrittsblende des Augenspiegels abgegeben wird. Es ist jedoch nötig, durch eine Linsenkombination die Lampe so abzubilden, daß das reelle Bild derselben dicht vor der Blende des Augenspiegels liegt, damit die Beobachtung wie sonst stattfinden kann. Dieses reelle Bild ist aber im Gegensatz zur wirklichen Petroleumflamme vollständig durchsichtig und läßt die zur Aufnahme dienenden Strahlen des Magnesiumblitzes ungehindert passieren.

Da nun die auf diese Weise entfernt stehende Lampe nicht mit dem Augenspiegel mitbewegt werden kann, wie dies sonst mit der am Augenspiegel fest angebrachten Lampe geschieht, so muß dafür gesorgt werden, daß bei dem Verschrauben des Augenspiegels trotzdem die Beleuchtung die richtige bleibt. Von oben nach unten sind nun keine großen Exkursionen notwendig, hier läßt sich die richtige Einstellung leicht innehalten, dagegen von links nach rechts. Würde man nun das Licht direkt in die Achse des Beleuchtungsrohres, welches ja zu dem Beobachtungsrohre einen Winkel von 45° bildet, einfallen lassen, so würde bei den horizontalen Verschiebungen des Augenspiegels nur bei

einer bestimmten Stellung die Achse des Beleuchtungsrohres genau auf die Lampe hinzielen. Um dies für alle Stellungen zu erreichen, muß die Beleuchtungsrichtung der Verschiebungsachse des Augenspiegels parallel sein, und daß die Strahlen dann in die Achse des Beleuchtungsrohres fallen, erreicht man durch ein Prisma, das vor der halbmondförmigen Blende angebracht ist und diese Strahlen um 45°· ablenkt.

Figur 59.



Der photographische Teil selbst ist verhältnismäßig am einfachsten. Da das Beobachtungsrohr zur subjektiven Betrachtung für Parallelstrahlen eingestellt ist, so muß vor demselben eine photographische Kamera mit Objektiv, genau wie zu einer Landschaftsaufnahme angebracht werden. Diese Kamera muß genügend klein sein, um am Beobachtungsrohr befestigt werden zu können und an seinen Bewegungen teilzunehmen.

Die ganze Vorrichtung ist in Figur 59 in einem horizontalen Durchschnitt dargestellt. R Q P sind die 3 Konvexlinsen, welche das Beobachtungsrohr des Augenspiegels bilden. Vor R befindet sich die eine

halbmondförmige Blende. J K M ist das Beleuchtungsrohr, in H befindet sich die zweite halbmondförmige Blende, in N das total reflektierende Prisma, welches die Beleuchtungsstrahlen in das zu photographierende Auge O wirft. S ist der Sucher des Augenspiegels, der zur richtigen Einstellung dient (derselbe ist hier etwas anders gezeichnet, als im Kapitel III, entsprechend einer technischen Abänderung in neueren Apparaten). Die Petroleumlampe, welche sich zur gewöhnlichen Ophthalmoskopie vor H befindet, ist hier entfernt, und statt dessen ein Prisma E vor der Oeffnung H angebracht. Dasselbe steht im Brennpunkte einer Konvexlinse D von 75 mm Brennweite. Diese Linse grenzt nun an ein festes sehr großes Gehäuse aus Eisenblech an, dessen 3 Seiten F F F im Durchschnitt gezeichnet sind. Die vierte Seite ist offen, ebenso die obere Decke fortgelassen, um den sich ausdehnenden Gasen des Magnesiumblitzes einen Ausweg zu schaffen. G G G G ist ein weit überstehendes Dach oben am Gehäuse, welches die Personen und den Augenspiegel selbst sowie die Kamera vor Nebenlicht und vor dem Herabfallen der Funken und Ascheteile schützt. An der Rückwand des Eisenblechgehäuses befindet sich eine gewöhnliche Petroleumlampe L, deren Strahlen durch eine Linse A parallel gemacht werden und auf eine lange Strecke hin den Innenraum des Gehäuses durchziehen. Dasselbe ist durch die Glasplatten B und C gegen die Petroleumlampe sowie gegen den Augenspiegel abgeschlossen, welche jedesmal nach dem Abbrennen des Pulvers gereinigt werden können.

Sowie nun die richtige Einstellung erfolgt ist, kann man das Magnesiumpulver, welches sich in dem Behälter Y befindet (derselbe ist unterhalb der Zeichnungsebene zu denken), elektrisch oder durch Schlag entzünden. Dasselbe explodiert dann in dem Raum zwischen B und C nach oben, und die von ihm ausgehenden Strahlen nehmen im Momente der Photographie genau den gleichen Weg, wie die der Lichtquelle L. Dieselben werden von der Linse D zunächst auf dem Prisma E konzentriert, dieses lenkt die Strahlen um 45° ab und zwar durch eine zweimalige Reflexion. Von hier treten die Strahlen durch die halbmondförmige Blende H in den eigentlichen optischen Teil des Augenspiegels ein und nehmen dann den weiteren bekannten Verlauf. Die aus der unbeleuchteten Hälfte der Pupille von O zurückkehrenden Strahlen durchlaufen das Beobachtungsrohr, und nachdem sie aus dem Okular R ausgetreten sind, nunmehr das dicht davor befindliche photographische Objektiv T. Dasselbe hat 75 mm Brennweite und entwirft auf U U ein scharfes Bild. Da das Bild sehr lichtschwach ist, so muß die Einstellung, wie dies zu mikrophotographischen Zwecken üblich ist, mittels

einer Einstelllupe Z auf einer durchsichtigen Glasplatte mit Fadenkreuz geschehen. Man läßt nun von einer zweiten Person das Versuchstier auf einem besonderen Tisch, welcher dicht unter die Eintrittsöffnung des Augenspiegels bei N reicht, an diese heranbringen, dann stellt man zunächst durch Verschieben des Beobachtungsrohres mittels der Einstelllupe Z scharf auf den Hintergrund des Auges ein. Wenn das Tier atropinisirt ist, so können Aenderungen dieser scharfen Einstellung nicht mehr vorkommen. Man schiebt dann vor U U die Kassette ein, schließt eine zwischen T und R angebrachte Klappe (hier im Durchschnitt nicht gezeichnet) und zieht die Kassette auf. Schräg durch die Kamera geht eine Spiegelglasscheibe U V, auf der man mittels der Einstelllupe W noch kurz vor der Aufnahme die Stelle, welche sich gerade im Gesichtsfeld befindet, erkennen kann. Letztere Vorrichtung ist jedoch nicht nötig. Man braucht nur auf gut Glück mehrere Aufnahmen zu machen und hat dann sicher die gewünschten Teile bei dem großen Gesichtsfelde auf dem Bilde. Nun reguliert man den Augenspiegel mittels der beiden Einstellschrauben so, daß die richtige Beleuchtung stattfindet, was durch den Sucher S kontrolliert wird. So wie dies der Fall ist, öffnet man den kleinen Hebel zwischen T und R, zündet den Blitz und schließt den Hebel wieder. Auf diese Weise sind die auf Tafel I dargestellten beiden Aufnahmen angefertigt. Dieselben sollen später im Zusammenhang mit den Aufnahmen vom menschlichen Augenhintergrunde besprochen werden. Ich will noch bemerken, daß die Katze nicht etwa narkotisiert war, sondern nur mit der Hand vor dem Prisma N festgehalten wurde.

Da diese Vorrichtung bei dem Auge der Katze so günstige Resultate ergeben hatte, ging ich auch dazu über, dieselbe für die Photographie des menschlichen Augenhintergrundes zu versuchen. Hier zeigte sich aber, daß das Licht bei weitem nicht ausreichte. Es genügte gerade eben, um eine Andeutung der Papille zu sehen, aber ohne daß es möglich gewesen wäre, nähere Einzelheiten zu erkennen. Ich glaubte deshalb, daß der Magnesiumblitz überhaupt nicht als Lichtquelle für die Photographie des menschlichen Augenhintergrundes geeignet wäre und stellte nunmehr Versuche mit elektrischem Bogenlicht an.

Das elektrische Bogenlicht muß aus einem der üblichen Projektionsapparate so auf die halbmondförmige Blende des Augenspiegels geworfen werden, daß ein scharfes Bild der positiven Kohle auf dem Halbmonde der Blende entsteht. Die momentane Beleuchtung muß dann durch einen Momentverschluß erfolgen. Hier ergeben sich zunächst durch die große Hitzeentwickelung des Flammenbogens viele technische Schwierigkeiten. Als Momentverschluß kann nur ein Fallverschluß angewandt

werden, dessen der Bestrahlung ausgesetzte Teile mit Metall oder mit Asbest bekleidet sein müssen, da die gewöhnlichen Momentverschlüsse sofort zu brennen anfangen. Die Beleuchtung des Auges vor der Aufnahme erzielte ich so, daß ich an dem Fallverschluß einen Spiegel anbrachte, der das Licht einer seitlich stehenden elektrischen 50 kerzigen Glühlampe mit matter Birne in den Augenspiegel hinein reflektierte. Bei dem Fall desselben wurde für eine kurze Zeit das elektrische Bogenlicht selbst frei, um dann durch völlige Dunkelheit abgelöst zu werden, da der Spiegel an dem fallenden Teil des Momentverschlusses angebracht war und so nachher sich unterhalb der halbmondförmigen Blende des Augenspiegels befand.

Die zweite große Schwierigkeit bei Verwendung des elektrischen Bogenlichtes besteht darin, das Gesichtsfeld, abgesehen von der theoretisch notwendigen Seitenabnahme, annähernd gleichmäßig zu beleuchten. Dies habe ich niemals erreichen können. Die Kohlen ändern bekanntlich während des Brennens fortwährend ihren Ort, und da hier nur dann eine volle Beleuchtung erzielt ist, wenn sich die positive Kohle genau in der Mitte der halbmondförmigen Blende abbildet und dieses Bild gleichzeitig ganz homogen ist, so ist es nötig, kurz vor der Aufnahme mit einem Modell des Auges das Bild auf einer Mattscheibe zu kontrollieren und durch Regulierung an der vertikalen und horizontalen Einstellungsschraube der Kohlen denselben genau die richtige Stellung zu geben. In der kurzen Zeit aber, die vergeht, bis der Patient am Apparat Platz genommen hat, ändert sich schon wieder die Stellung der Kohle und man erhält ein fleckig belichtetes Bild. Aus demselben Grunde hat man ja bekanntlich auch bei der mikroskopischen Photographie auf die Verwendung des elektrischen Bogenlichtes verzichtet.

Was nun die Schnelligkeit des Momentverschlusses betrifft, so habe ich mich davon überzeugt, daß eine längere Dauer wie $^1/_{15}$ Sekunde jede Aufnahme unmöglich macht. Wir haben, worauf ich noch ausführlicher eingehen werde, das schwache Licht, das vom Augenhintergrunde kommt, gegenüber dem sehr intensiven Licht, das von der Iris, der Sklera und den Lidern zurückgestrahlt wird, photographisch auszunutzen. Dies ist nur solange möglich, als das photographische Objektiv nur von dem Bilde der Pupille und von nichts anderem ausgefüllt wird. Sowie nun die Aufnahme länger als die Reaktionszeit der Lidmuskeln dauert, beginnt das obere Augenlid sich zu schließen, und sobald der geringste Teil desselben Strahlen auf die Platte sendet, wird die Verschleierung des Bildes eine so bedeutende, daß die Aufnahme nicht mehr zu gebrauchen ist. Aus diesem Grunde sind mir bei elektrischem Lichte fast

alle Aufnahmen mißlungen. In den wenigen Fällen, wo eine solche gelang, machte dieselbe unverhältnismäßige Schwierigkeiten in der Einstellung. Endlich sei noch erwähnt, daß die Abdeckung des Nebenlichtes, das aus dem Projektionsapparat herausdringt, ebenfalls sehr schwer zu bewerkstelligen ist.

Ich ging deshalb wieder zu der Verwendung des Magnesium-Blitzlichtes über und legte mir die Frage vor, ob sich nicht die Wirkung desselben noch günstiger, als ich dies bei den Aufnahmen des Augenhintergrundes der Katze getan hatte, gestalten ließe. Als optische Anordnung behielt ich ganz dieselbe bei, die in Figur 59 dargestellt ist. Insbesondere bewährte sich die Methode der Beleuchtung mittels der entfernt stehenden Petroleumlampe bis zum Momente der Zündung des Blitzes sehr gut. Es ist mir nun in der Tat gelungen, die Intensität des Lichtes für den menschlichen Augenhintergrund ausreichend zu gestalten, und zwar durch 4 Veränderungen: 1) durch Ersetzen des Prismas E durch ein einfach total reflektierendes Prisma, 2) durch günstigere Ausnutzung des Blitzes selbst, 3) durch Anwendung einer schwächeren Vergrößerung und 4) durch Benutzung empfindlicherer photographischer Platten.

Die Strahlen zur Beleuchtung hatte ich nicht in der Achse des Beleuchtungsrohres einfallen lassen, sondern dieselben verliefen zunächst parallel der seitlichen Verschiebungsrichtung des Augenspiegels und wurden erst dann durch ein Prisma abgelenkt, damit man imstande war, während der Einstellung den Augenspiegel seitlich verschieben zu können, ohne daß die Beleuchtung des Auges sich änderte. Das dazu benutzte Prisma war ein solches, in dem eine zweimalige Reflexion im Innern stattfand. Dieses Prisma war deswegen benutzt worden, weil es für die Justierung gewisse Erleichterungen bietet. Die eine dieser Reflexionen ist aber eine gewöhnliche Spiegelreflexion, und es entsteht so ein Lichtverlust, der dadurch vermieden werden kann, daß ein einfach total reflektierendes Prisma verwandt wird. Dadurch werden etwa schon 20 pCt. an Helligkeit gewonnen.

Von der größten Bedeutung war eine bessere Ausnutzung des Magnesiumblitzes. Es war zunächst notwendig, festzustellen, welche Stelle des Magnesiumblitzes die größte Intensität hat, da ja für die Aufnahme nur eine gewisse Fläche des Blitzes benutzt wird, die sich gerade vor dem Fenster C (Figur 59) befindet. Die einfachste Methode, dies festzustellen, bestand darin, daß man von dem Blitze selbst eine photographische Aufnahme machte. Da der Blitz aber eine außerordentlich große Lichtintensität besitzt, so wurde in das Objektiv der photographischen

Kamera eine Blende von 1 mm Durchmesser eingeschaltet. Diese dunkelte das Bild genügend ab, um gerade eine richtige Exposition zu ergeben, andererseits war diese Oeffnung nicht zu klein, um störende Beugungserscheinungen hervorzurufen. Der Behälter, in dem das Blitzpulver gezündet wurde, war eine dazu käufliche Schale, die in Figur 60a im

Figur 60.



Vertikaldurchschnitt dargestellt ist. Die Aushöhlung hatte eine Tiefe von 3 cm, als Pulver wurden stets im ganzen 2 g der vorher beschriebenen Mischung aus Magnesium, chlorsaurem Kali und Schwefelantimon benutzt. Die verschiedenen Aufnahmen des Blitzes unter gleichen Bedingungen ergaben ziemlich gleichmäßige Bilder, sodaß man wohl berechtigt war, eine gewisse Gesetzmäßigkeit darin zu erkennen. Eine solche Aufnahme, wie sie beim Verbrennen des Blitzpulvers, das sich auf dem Boden der Schale der Figur 60a befand, erhalten wurde, stellt die Figur 61 dar. Man

Figur 61.



sieht, daß unmittelbar über der Schale die Helligkeit am stärksten ist und daß dieselbe nach oben hin schnell abnimmt. Die Explosion erfolgte stets unter lautem Knall, und es war anzunehmen, daß dies der verhältnismäßig tiefen Form der Schale zugeschrieben werden mußte. Ein Teil der chemischen Spannkraft wurde dazu verbraucht, das Pulver

in die Höhe zu schleudern, und trug so nichts zur Leuchtkraft des Blitzes bei. Daß diese Vermutung richtig war, zeigt die Figur 62. Diese stellt einen Blitz dar, welcher durch Abbrennen genau derselben Menge von Blitzpulver entstand, jedoch war die Schale mit Blei ausgegossen worden, sodaß die Aushöhlung nunmehr nur noch $^1/_2$ cm betrug und gerade tief genug war, um 2 g Pulver zu fassen (Figur 60 b). Die Explosion erfolgte fast geräuschlos und ergab einen Blitz von ungleich größerer Leuchtkraft. Man sieht auf der Figur 62 noch deutlich die einzelnen Teile des Eisen-Blechgehäuses erleuchtet, von denen auf der Figur 61 noch nichts zu erkennen ist. Beide Aufnahmen sind mit der gleichen Lösung gleich lange entwickelt worden. Bei der Anordnung Figur 59 stand nun der Behälter Y 15 cm unterhalb des Fensters C. Die ent-

Figur 62.



sprechende Stelle des Blitzes Figur 61 ist aber schon erheblich dunkler als der unterste Teil desselben. Auch bei Verwendung der flacheren Schale ist, wie man in Figur 62 sieht, der unmittelbar über der oberen Oeffnung derselben gelegene Teil der hellste. Es war also notwendig, den Behälter mit Blitzpulver direkt unter das Fenster C zu stellen. Späterhin verwandte ich meistens zur Aufnahme des menschlichen Augenhintergrundes eine etwas andere Zusammensetzung des Blitzpulvers, nämlich eine Mischung von 1,2 g übermangansaurem Kali und 0,8 g Magnesium. Diese Mischung ergab noch günstigere Resultate, und mit ihr sind auch sämtliche Aufnahmen des menschlichen Augenhintergrundes, die in Tafel II und III abgedruckt sind, angefertigt worden. Um auch die Helligkeitsverteilung dieses Blitzes beurteilen zu können, ist derselbe in Figur 63 photographiert worden, in etwas stärkerer Vergrößerung, als

die beiden vorigen Bilder, ebenfalls aus flacher Schale abgegeben. Auch hier ist wieder der unmittelbar über dem Behälter befindliche Teil der hellste. Interessant sind die strahlenförmigen Figuren auf der rechten Seite, welche durch fortgeschleuderte Teilchen des Pulvers im Momente der Explosion entstehen.

Ein weiteres Mittel, die Lichtstärke zu erhöhen, bestand darin, die Brennweite des Objektivs T (Figur 59) zu verkürzen. Wir können für die Lichtstärke des photographischen Bildes des Augenhintergrundes bei der gleichen Lichtquelle folgenden Satz analog den auf Seite 59 stehenden Sätzen 2)—4) aufstellen.

Figur 63.



Das reelle Bild des Augenhintergrundes ist dann maximal beleuchtet, wenn die Hälfte der Strahlen, welche ein Punkt des Augenhintergrundes im selbstleuchtenden Zustande aussenden würde, zur Lichtquelle, die Hälfte zu diesem reellen Bilde gelangt. Die Beleuchtung ist dann umgekehrt proportional dem Quadrat der Vergrößerung des Bildes . . . 5)

Unter „maximal“ ist hier die bei gleichbleibender Pupillengröße und Lichtquelle größtmöglichste Beleuchtung zu verstehen. Da bei unserer Anordnung die Hälfte des Bündels, welches ein Punkt des Augenhintergrundes im selbstleuchtenden Zustande aussenden würde, zur Lichtquelle, die Hälfte zur photographischen Platte gelangt, so ist die Maximallichtstärke erreicht und diese nur noch von der Vergrößerung

des Bildes abhängig, d. h. von der Brennweite des photographischen Objektivs. Es fragt sich nun, ob man nicht eine größere Lichtstärke erzielen könnte, wenn man dem Beobachtungssystem des Augenspiegels vielleicht eine schwächere Vergrößerung gäbe. Nehmen wir an, das Beobachtungsrohr des Augenspiegels soll 3 mal verkleinern, sodaß wir nur die Vergrößerung des umgekehrten Bildes haben, dann ist die Austrittspupille 9 mal so groß wie im vorigen Falle. Dieselbe würde also eine im gleichen Abstand befindliche photographische Platte auch 9 mal so stark beleuchten. Aber wenn wir dieselbe Vergrößerung erzielen wollen, so müssen wir jetzt ein Objektiv von 3 mal so großer Brennweite anwenden, als wenn das Beobachtungsrohr schon selbst die Vergrößerung des aufrechten Bildes ergibt. Dadurch wird der Abstand der Platte wieder ein 3 mal so großer von der Austrittspupille an, mithin die Beleuchtung eine 9 mal geringere. Das Resultat ist $^9/_9 = 1$, d. h. die Beleuchtung ist genau dieselbe, als wenn das Beobachtungsrohr die Vergrößerung des aufrechten Bildes hat. Es ist also die Lichtstärke nicht abhängig von der Vergrößerung des Beobachtungssystems des Augenspiegels an sich.

Die Lichtstärke wächst also umgekehrt proportional dem Quadrat der Brennweite. Vorher war ein Objektiv von 75 mm Brennweite angewandt worden, jetzt wurde ein solches von 50 mm Brennweite benutzt. Die Helligkeit war somit $= \left(\frac{75}{50}\right)^2 = {}^9/_4$ mal so groß wie im vorigen Falle.

Es sei noch kurz auf den großen Einfluß hingewiesen, der der Pupillenweite für die Lichtstärke des Bildes zukommt. Dieselbe wächst proportional der vierten Potenz des Pupillendurchmessers. Da die Fläche für den Lichteintritt proportional dem Quadrat des Durchmessers wächst, die Fläche für den Lichtaustritt ebenfalls proportional dem Quadrat des Durchmessers, so wächst der Gesamteffekt, welcher gleich dem Produkt dieser beiden Größen ist, proportional der vierten Potenz des Durchmessers. Nimmt also der Pupillendurchmesser von 6 auf 8 mm zu, so wächst die Lichtstärke auf den $\left(\frac{4}{3}\right)^4$ fachen Betrag, d. h. auf mehr als das 3 fache.

Ein sehr wichtiger Punkt betrifft nun die geeignete Wahl der photographischen Platten. Von vornherein müßte es zweckmäßig erscheinen, bei dem menschlichen Augenhintergrunde, der eine Zeichnung in Rot auf rotem Grunde darstellt, auch rotempfindliche Platten zu verwenden. Ich habe verschiedene rotempfindliche Plattensorten erprobt. Am besten

zeigten sich von diesen die Perchromoplatten von Miethe. Eine mit solcher Platte erzeugte Aufnahme ist Figur 14 auf Tafel III, Chorioiditis bei einer 60jährigen Frau. Für einzelne Fälle sind diese Platten in der Tat gut, wo es sich um die Darstellung sehr heller Objekte handelt. Für den diffus roten Fundus jugendlicher Personen dagegen sind sie noch nicht an Empfindlichkeit genügend. Hier traf es sich nun sehr günstig, daß die Firma Lumière in Lyon eine neue Art von Platten in den Handel gebracht hat, die sogenannten plaques extra-rapides, die die bisher bekannten empfindlichsten Platten noch um das 3 fache übertreffen. Dieselben sind für die chemischen Strahlen empfindlich und erfordern nicht eine besondere Vorsicht in der Dunkelkammer. Obgleich nun das Auge verhältnismäßig wenig chemische Strahlen aussendet, sind diese bei der hohen Empfindlichkeit der plaques extra-rapides noch günstiger für die Photographie, als die zahlreichen roten Strahlen. Mit diesen Platten sind ausschliesslich die übrigen Aufnahmen des menschlichen Augenhintergrundes angefertigt.

Die meisten der hier abgebildeten Photographien sind von jugendlichen Personen gewonnen, so sämtliche Bilder der Tafel II und die Bilder 9—12 der Tafel III, nur die beiden letzten Bilder 13 und 14 auf Tafel III sind von älteren Personen, 13 von einer 39jährigen und 14 von einer 60jährigen Patientin. Man sieht, daß auf den Bildern der jugendlichen Personen der Fundus selbst sehr gut erkennbar ist, während bei den älteren Personen nur noch einzelne helle Stellen sich markieren. Obgleich ich noch kein sehr zahlreiches Versuchsmaterial in dieser Richtung habe, glaube ich doch schon jetzt behaupten zu können, daß dieses Verhalten das allgemeine ist: Je jünger die Person ist, desto mehr chemische Strahlen treten aus dem Auge heraus und desto weniger werden diffus reflektiert. Die Ursache davon ist wahrscheinlich die größere Durchsichtigkeit der Linse. Sowie sich ein Kern in der Linse entwickelt, werden immer mehr die chemischen Strahlen absorbiert und zum Teil diffus reflektiert. Deshalb erhält man bei den Aufnahmen älterer Personen sehr leicht einen diffusen Schleier und darf die Bilder nicht so lange entwickeln, wie es wünschenswert wäre, um alle Einzelheiten in den dunkleren Partien des Fundus hervorzubringen. Natürlich wird dies zum Teil auch von der individuellen Pigmentirung abhängen. Der Fundus ist bei verschiedenen Personen gleichen Alters ebenso verschieden an chemischer Wirksamkeit der Strahlen, als etwa eine Landschaft bei Sonnenschein oder bedecktem Himmel. So ist z. B. die Papille in Figur 9 auf Tafel III bereits überlichtet, sodaß die Feinheiten derselben nicht mehr so gut zum Vorschein kommen. In diesem

Falle würde es sich empfehlen, mit einem Objektiv von größerer Brennweite (75 mm) den Sehnerven zu photographieren, während die übrigen Teile des Fundus besser bei dieser hier angewandten Vergrößerung (mit 50 mm Brennweite aufgenommen) hervortreten. Ebenso würde in Figur 13 Tafel III die Intensität der myopischen Papille reichlich genügen, um eine Aufnahme mit einem Objektiv von 75 mm Brennweite zu machen, während dann vom Fundus gar nichts mehr zu erkennen wäre. Es muß also bei diesen Aufnahmen sehr individualisiert werden. Als Durchschnitt empfiehlt sich jedoch das Objektiv von 50 mm Brennweite für den menschlichen Augenhintergrund.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die Photographie des menschlichen Augenhintergrundes gerade an der Grenze des Erreichbaren steht. Sämtliche Bilder, die hier abgedruckt sind, wurden mit einer Lösung von 5 ccm Rodinal auf 100 ccm Wasser unter Zusatz von 3 Tropfen 10 proc. Bromkaliumlösung entwickelt. Trotz der Ausnutzung aller der günstigsten Umstände bei der Aufnahme mußte die Entwickelung 15 Minuten lang geschehen. Die Bilder sind also im photographischen Sinne stark unterexponiert. Daß sie trotzdem weiche Kontraste ergeben, liegt an der Natur des Objektes, welches so sehr wenig Kontraste enthält. Es ist möglich, daß unter Anwendung anderer Entwicklerlösungen noch bessere Resultate sich erzielen lassen. Ich möchte jedoch diese, da sie sich mir bewährt hat, empfehlen. Während der Entwickelung wurden die Bilder in verdeckter Schale gehalten.

Man wird bei genauer Betrachtung der Photographien des menschlichen Augenhintergrundes noch einige Besonderheiten wahrnehmen, zunächst den starken Abfall der Helligkeit nach den Seiten hin. Der Grund hierfür ist schon auf Seite 47 besprochen worden. Da derselbe ganz unvermeidbar ist und direkt aus der Theorie, nach der die Reflexe beseitigt sind, hervorgeht, so muß man sich damit begnügen, und es hat keinen Zweck, hier eine Abhilfe zu versuchen. Zum Teil wird ja diese ungleichmäßige Beleuchtung dadurch ausgeglichen, daß man imstande ist, mit voller Sicherheit den gewünschten Teil des Augenhintergrundes in die Mitte des Bildes zu bringen. Ferner kann man bemerken, daß das Gesichtsfeld nach links und rechts hin nicht in gleicher Weise aufhört. Nach links hin schneidet dasselbe in einer geraden Linie ab; nach hier zu bleiben die einzelnen feinen Gefäße vollständig scharf, der Untergrund wird nur immer dunkler, bis nichts mehr vom Bilde zu sehen ist. Nach rechts dagegen ist der hellste Teil des Bildes von einer bogenförmigen Linie begrenzt, deren Konvexität nach rechts gewendet ist. Jenseits derselben ist ebenfalls noch Licht vorhanden, nur scheint

sich ein Schleier auf die einzelnen Teile des Bildes zu legen, welcher immer dichter wird und bis zu dem scharfen Rande sich erstreckt, welcher das Gesichtsfeld kreisförmig begrenzt. Dieser Rand ist das Bild einer Linse im Beobachtungsrohr. Ohne zu genau auf den Grund dieser Erscheinung einzugehen, will ich anführen, daß das System des Beobachtungsrohres eine verhältnismäßig starke sphärische Aberration hat, sobald es sich um die Abbildung der Pupillenhälfte handelt. Vermöge dieser sphärischen Aberration treten geringe Verschiebungen des Bildes der Austrittspupille für die Seiten des Gesichtsfeldes ein, welche bewirken, daß für die eine Seite des Bildes auch ein Teil der unbeleuchteten Iris und Sklera Strahlen auf die photographische Platte sendet und dadurch einen leichten Schleier hervorruft.

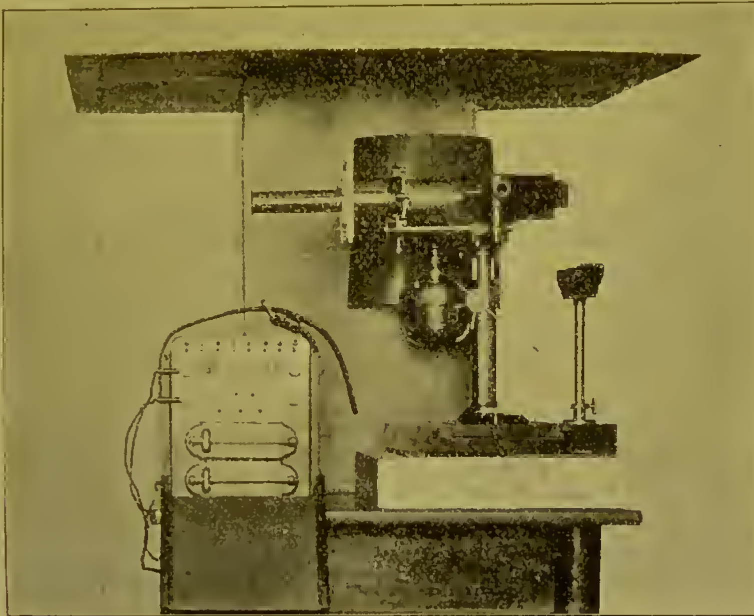
Dieses Licht, das die unbeleuchtete Hälfte des Auges aussendet, ist überhaupt von Wichtigkeit. Wenn gerade die erweiterte Pupille so eingestellt ist, wie dies in Figur 43, 5 als richtige Stellung im Sucher dargestellt wurde, dann wird auch kein Nebenlicht auf die Platte geworfen, wenigstens auf die rechts gelegenen Teile. Ist aber die Einstellung nicht genau, so sendet die Umgebung der Pupille auch auf die Mitte des Bildes Strahlen. Dasselbe findet statt, wenn die Pupille enger ist als die Oeffnung des Objektivs. Wenn auch diese Hälfte des Auges unbeleuchtet ist, so ist es doch nicht zu vermeiden, daß die helle Hälfte der anderen Irisseite so viel diffuses Licht verbreitet, daß auch diese Hälfte etwas beleuchtet wird. Sie ist ja auch noch immer sichtbar und nicht absolut schwarz. Da das Licht des Augenhintergrundes so außerordentlich gering ist, so stört schon ein solch schwaches Nebenlicht, indem es als Schleier wirkt. Dies fällt fort, wenn die Einstellung genau ist, die Pupille gut erweitert wird und die Irisblende des Objektivs so eingestellt ist, daß sie nicht größer ist als die Pupille des Auges. Auf diese Punkte hat man bei der Aufnahme genau zu achten. Wenn das Oberlid auch nur im geringsten die Pupille bedeckt oder sich etwa, wie es bei elektrischem Licht oft der Fall war, zu schließen beginnt, so ist eine Aufnahme gar nicht mehr möglich.

In einigen Bildern, welche Aufnahmen der macula lutea betreffen, so z. B. in Bild 8, Tafel II ist noch ein schwacher senkrechter heller Streifen zu sehen, welcher über die Mitte des Bildes zieht. Dieser Streifen stellt einen Reflex dar. Zwar ist dies nicht der reguläre Hornhautreflex der beleuchtenden Strahlen — denn dieser ist nach dem beschriebenen Prinzip beseitigt — aber das Prisma, welches das Auge beleuchtet, wirkt in gewissem Sinne als diffus reflektierender Körper. Würde dasselbe die Strahlen nur regelrecht spiegeln, so könnte dieser Reflex-

streifen nicht auftreten. Da aber jede, auch die beste Glassorte, bei intensiver Beleuchtung leicht diffus reflektiert, so können diese Strahlen bei gewisser Entfernung des Auges durch eine zweite Reflexion an der Cornea noch in das Gesichtsfeld gelangen, und gegen diese Strahlen wirken die Blenden nicht. Man sieht, daß gegen solche ganz geringfügige Mengen von Nebenlicht, die man bei der subjektiven Beobachtung kaum bemerkt, die Photographie noch empfindlich ist.

Ich käme nun dazu, die Vorrichtung,[1]) welche zur Aufnahme des menschlichen Augenhintergrundes dient, etwas näher zu beschreiben, sowie die Art, wie die Aufnahmen gemacht werden. Der Apparat dazu

Figur 64.



ist in Figur 64 in der äußeren Ansicht dargestellt, die innere Einrichtung desselben geht aus der Figur 59 hervor. Auf der Figur 64 sieht man im Vordergrunde links einen Akkumulator, der zur elektrischen Zündung des Blitzpulvers im geeigneten Momente diente. Die elektrische Zündung eignet sich hierfür am besten, weil sie erstens durch einen leisen Fingerdruck erfolgen kann und dann durch das Glühen des Drahtes das Pulver etwas langsamer gezündet wird, als es durch Schlag mittels Knall-Quecksilber geschieht. Dies vermindert die explosible Wirkung und erhöht

1) Die Anfertigung derselben hat die Firma Franz Schmidt & Haensch zu Berlin übernommen.

dafür die Leuchtkraft des Blitzes. Dann sieht man den Augenspiegel, an dem eine photographische Kamera befestigt ist. Dieselbe besteht aus einem kurzen Rohr, von der Weite des Beobachtungsrohres, das an letzteres durch 3 Schrauben befestigt wird. Dicht an der Kugel, die zur Einstellung des Beobachtungsrohres dient, befindet sich der kleine Hebel, mit welchem man die Kamera kurz vor der Aufnahme öffnet und kurz nach derselben wieder schließt. In der definitiven Ausführung soll dieser Verschluß elektrisch erfolgen, gleichzeitig mit dem Zünden des Blitzpulvers, da bei der abgebildeten Vorrichtung immerhin einige Aufmerksamkeit dazu gehörte, nicht zu viel Zeit nach dem Blitz bis zum Verschließen des Hebels vergehen zu lassen. Am Ende der Kamera befindet sich eine zur Einstellung dienende Glasscheibe und auf dieser fest angebracht die fernrohrartige Einstelllupe. Im Hintergrunde bemerkt man das große Eisenblechhaus, hinter diesem hier nicht mehr sichtbar steht der Behälter mit dem Blitzpulver und die Einstelllampe. Die in der Figur sichtbare Petroleumlampe diente hier nur als Stativ für das Prisma, welches um 45° die Strahlen ablenkt, nebst der dazugehörigen Konvexlinse.

Die Aufnahme geschieht nun in folgender Weise: Nachdem man die Pupille durch Homatropin erweitert hat, läßt man den Patienten sein Kinn auf den Kinnhalter aufstützen, wie dies sonst zur subjektiven Beobachtung mittels dieses Augenspiegels geschieht. Man läßt ihn dann in dem Seitenspiegel eine Lampe fixieren, stellt im Sucher den Beleuchtungsschein richtig ein und beobachtet dann durch die Einstelllupe, welche Stelle sich im Gesichtsfelde befindet. Durch eine zweite Person läßt man der Fixierlampe nunmehr die richtige Lage geben, bis sich das gewünschte Objekt genau in der Mitte des Gesichtsfeldes befindet. Dann erfolgt die scharfe Einstellung. Man schiebt das Beobachtungsrohr an der daran angebrachten Kugel so lange hin und her, bis die größtmöglichste Schärfe des Bildes erreicht ist. Von einem Andern kann man inzwischen den Augenspiegel regulieren lassen oder man kann dies auch selbst vornehmen. Nachdem diese beiden Einstellungen geschehen sind, auf richtige Lage der Objekte im Gesichtsfelde und auf Schärfe des Bildes, kann sich zunächst der Patient wieder vom Kinnhalter entfernen. Dann schüttet man das Blitzpulver auf und schiebt an Stelle der Einstelllupe die Kassette ein. Ferner empfiehlt es sich, jetzt noch einmal die Höhe des Fensters C so zu regulieren, daß sie genau der Höhe der Linse D entspricht. Findet dies nicht statt, so ist dies zwar auch kein besonderer Schaden für die Aufnahme, es könnte nur vorkommen, daß der oberste und unterste Rand des Bildes dadurch verdunkelt wird. Dann läßt man den Patienten

sich wieder auf den Kinnhalter aufstützen. Die Einstellung der Lage und der Schärfe des Bildes ist nun nicht mehr nötig vorzunehmen, da sich diese nicht ändern können. Wir brauchen nur, durch den Sucher blickend, den Augenspiegel so an den beiden Schrauben zu regulieren, daß genau die Hälfte der Pupille beleuchtet ist, und dann durch Druck auf einen Kontaktknopf das Blitzpulver zu zünden.

Ich will nun die Photographieen auf den 3 beigegebenen Tafeln etwas genauer beschreiben. Tafel I sind Aufnahmen des linken Auges einer schwarzen Katze, beide Aufnahmen betreffen dasselbe Auge. Man kann die einzelnen Gefäße, die z. B. auf Bild 1 rechts zu sehen sind, auch auf Bild 2 in der linken Hälfte wiederfinden. Bild 1 zeigt gerade in der Mitte die Sehnervenpapille, von derselben gehen 3 Hauptgefäßstämme aus: nach oben, unten und nasalwärts. Bei jedem kann man die dickere Vene von der dünneren Arterie unterscheiden. Die Sehnervenpapille ist ziemlich ausgehöhlt, man sieht die Gefäße noch eine kleine Strecke über den Rand treten und dann verschwinden. Eine Strecke unterhalb der Papille sieht man das helle Tapetum aufhören und in die dunklere Pigmentierung der Peripherie des Augenhintergrundes übergehen, eine Anzahl feiner Gefäße gehen rechts nach der area centralis zu ab. Das Bild 2 zeigt die area centralis in der Mitte. Hier ist besonders deutlich die große Anzahl der feinen Aeste zu beobachten, welche von allen Seiten an die area herantreten. Beide Aufnahmen sind mit einem Objektiv von 75 mm Brennweite angefertigt. Dieselben gestatten nun eine sehr genaue Messung der Größenverhältnisse der einzelnen Gefäße. Zu diesem Zwecke kann man entweder das Negativ oder ein danach angefertigtes Positiv in genau 100facher Vergrößerung gegen den wirklichen Augenhintergrund projizieren, oder aber, man mißt diese Größen unter dem Mikroskop aus. Gegenüber der Natur haben wir hier im Bilde eine 7,5 fache Linearvergrößerung, wenn die Brennweite des Auges der Katze zu 10 mm angenommen wird. Der Durchmesser des Sehnerven ergibt sich, an Präparaten gemessen, zu 0,80 mm. Legen wir diese Größe zu Grunde, so können wir die Dicke sämtlicher Gefäße danach bestimmen. So hat die in Figur 1 nasalwärts (links) austretende Vene am Sehnervenstamm eine Dicke von 95 μ, die Arterie neben ihr ist 55 μ breit, die Vene, welche nach unten führt, ist 105 μ dick und die sie begleitende Arterie 55 μ, die obere Vene 100 μ und die Arterie neben ihr ebenfalls 55 μ. Von den 3 feinen Gefäßen, welche dicht nebeneinander unterhalb der area centralis in Bild 2 hinwegziehen, hat das mittlere einen Durchmesser von 30 μ, das obere von 20 μ. Nun sind diese Größen zwar alle von der Richtigkeit der Größe der Papille, welche zu

0,80 mm angenommen wurde, abhängig, aber die relativen Größenverhältnisse derselben zu einander werden davon nicht betroffen, besonders, wenn man die Messungen in der Mitte des Bildes, welche optisch die geringsten Fehler aufweist, vornimmt. Der Astigmatismus des Katzenauges, welcher in verschiedenen Schilderungen als hochgradig dargestellt wird, ist, wie man aus der Schärfe der Bilder erkennt, so gering, daß hierdurch keine wesentlichen Fehler entstehen. Auch die Winkel, die die Gefäßstämme miteinander bilden, sind leicht zu messen. So ist auf Bild 1 der Winkel zwischen oberer und unterer Arterie 140°, die nasale Arterie bildet mit den beiden andern Arterien einen gleichen Winkel von 110°. Von Interesse sind noch die verschiedenen Ueberkreuzungen auf Bild 2, es sind im ganzen 5 Ueberkreuzungen von Gefäßen auf dem Bilde zu sehen. Bei allen geht das eine Gefäß über das andere fast senkrecht, aber nicht vollkommen senkrecht. Wenn man die Winkel mißt, so ergeben sich immer 2 Scheitelwinkel zu 80°, und die beiden andern zu 100°. Es müßte durch weitere Aufnahmen festgestellt werden, ob dieser Befund ein rein zufälliger ist, oder ob eine gewisse Gesetzmäßigkeit darin zum Ausdruck kommt.

Wir kommen nun zu den Tafeln II und III. Diese betreffen sämtlich Aufnahmen des menschlichen Augenhintergrundes. Figur 5 und 6 stellen Aufnahmen desselben Auges dar, des rechten Auges eines 15jährigen Mädchens. Die Bilder sind natürlich so abgedruckt, wie es der wirklichen Lage entspricht. Alle sind mit einem Objektiv von 50 mm Brennweite aufgenommen. Bild 5 zeigt die Sehnervenpapille etwa in der Mitte. Deutlich ist die physiologische Exkavation als hellere Stelle in der Mitte zu erkennen. Die Arterien unterscheiden sich von den Venen hauptsächlich durch ihre geringere Dicke, der Unterschied in der Farbe ist weniger auffällig. In Bild 6 ist die Sehnervenpapille an den unteren Rand des Bildes gebracht, um einen höher gelegenen Teil abzubilden. Man sieht, daß die eine Vene fast senkrecht nach oben verläuft. In der Begleitung der nach links oben ziehenden Gefäßstämme ist eine hellere Zone zu sehen, die der stärkeren Lichtreflexion der dort entlang verlaufenden Nervenfaserstämme entspricht. Bild 3 und 4 betreffen wieder beide dasselbe Auge, und zwar das rechte Auge eines 12jährigen Knaben. In Bild 3 ist auch wieder sehr deutlich die physiologische Exkavation zu sehen, ferner der Skleralring, dann zwei feine Gefäße, welche nach der Fovea centralis zu verlaufen. Bild 4 zeigt in der Mitte die Macula lutea. Wenn man die Gruppierung der Hauptgefäßstämme um die Macula herum verfolgt, so findet man, daß dieselben einen fast vollständigen Kreis um die zentrale Foveola bilden. Man mache den Versuch, einen

Zirkel mit der einen Spitze in die Foveola einzusetzen und einen Kreis zu schlagen, dessen Radius gleich dem Abstande zwischen temporalem Papillenrande und Foveola ist, dann wird dieser Kreis genau den Hauptverlauf der Gefäßstämme bilden. Dasselbe kann man auch in Bild 8 und 10 beobachten. Außerdem ist der Abstand der oberen und unteren Gefäße von der Foveola ganz der gleiche. Man vergleiche daraufhin die Bilder in den verschiedenen Atlanten, so wird man sehen, daß es hier fast stets so dargestellt ist, als wenn die Gefäßstämme nach oben und unten weit divergierten. Man kann aus einer so geringen Zahl von Aufnahmen noch keine allgemeinen Schlüsse ziehen, aber es wird sich durch weitere Aufnahmen feststellen lassen, ob nicht doch der kreisförmige Verlauf der Gefäße die Regel ist. Bild 7 und 8 sind Aufnahmen des rechten Auges eines 10 jährigen Knaben. In diesem Falle ist die Papille kleiner als bei den beiden vorigen Augen, zum Teil wohl deswegen, weil geringe Myopie bestand und infolge dessen die Vergrößerung eine etwas geringere wurde. Auf Bild 8 ist besonders deutlich eine eigentümliche Art der Beleuchtung der Gefäße zu erkennen, was auch bei den anderen Aufnahmen der Macula lutea auf Bild 4 und 10 zum Vorschein kommt. Auf derjenigen Seite, welche der beleuchteten Pupillenhälfte entspricht, sind die Gefäße hell, auf der anderen dunkel. Sie gewinnen dadurch einen gewissermaßen plastischen Eindruck. Da die Gefäße in der durchsichtigen Netzhaut oberhalb des übrigen auf der Photographie abgebildeten Niveaus liegen, so findet dasselbe statt, als wenn man beispielsweise die Schrift auf einem Geldstück betrachtet, wenn man seitlich vom Fenster sitzt und das Geldstück vor sich hinhält. Zum Teil verlaufen diese hellen Streifen neben den Gefäßen. Wahrscheinlich wirken an diesen Stellen die Gefäße als Spiegel und konzentrieren das Licht auf einzelne Stellen; niemals tritt dieser Reflexstreifen oberhalb oder unterhalb der Gefäße auf, sondern immer nur auf der linken Seite, von der aus das Licht kommt. Das Umgekehrte wird bei Aushöhlungen der Fall sein, wie sie die Foveola darstellt. Hier muß die der unbeleuchteten Pupillenhälfte entsprechende Seite hell werden, während die andere Seite dunkel bleibt, dies ist auch deutlich auf den Bildern 8 und 10 zu sehen, wo die linke Hälfte der Foveola dunkel, die rechte hell ist[1]). Gewissermaßen stellt die Foveola einen kleinen Hohlspiegel dar, der das umgekehrte Bild der Teilung der Pupille in helle und dunkle Hälfte aus dem Auge zurückwirft. Bild 9 und 10 sind Aufnahmen desselben rechten Auges eines 8 jährigen Knaben

1) Diese Feinheiten sind nur auf den Diapositiven zu erkennen.

mit hellem, wenig pigmentiertem Hintergrunde. Die Aufnahmen wirkten verhältnismäßig recht gut auf die Platte, deshalb sind auf Bild 10 besonders viele Einzelheiten sichtbar. Der Sehnerv selbst ist auf Bild 9 schon etwas überlichtet, so daß die Exkavation von dem übrigen nicht mehr gut zu trennen ist. Die letzten 4 Bilder sind Aufnahmen pathologischer Fälle. Bild 11 und 12 stellen den Sehnerven eines hochgradig myopischen rechten Auges (— 11 D) eines 12 jährigen Mädchens dar, die Papille wird verhältnismäßig klein wegen der schwächeren Vergrößerung infolge der Myopie; ebenso sehen die Gefäße beträchtlich dünner aus. Auf Bild 11 erkennt man deutlich die eigentliche Papille, sowie ein ringförmiges Staphylom, das sich besonders nach der temporalen (linken) Seite ausdehnt. Es sind auf der pigmentarmen Chorioidea viele Choriodealgefäße sichtbar. Von besonderem Interesse ist auf diesem Bilde ein die Papille rechts umgebender halbmondförmiger heller Streifen, der sogenannte Weiss'sche Reflexbogen. Dieser tritt dadurch auf, daß die Netzhaut hier als Hohlspiegel wirkt, der Bogen steht auf der Seite der nicht beleuchteten Pupillenhälfte. Um durch die Photographie zu beweisen, daß der scheinbare Ort desselben wirklich im Glaskörper ist, habe ich eine zweite Aufnahme (Bild 12) von derselben Papille gemacht, aber auf eine etwas vor der Netzhaut im Glaskörper liegende Ebene scharf eingestellt. Bei dieser Einstellung sind die Gefäße und der Sehnerv bereis etwas unscharf, dagegen ist der Reflexbogen ganz scharf und schmal, während er auf dem vorigen Bilde verbreitert erscheint. Es läßt sich so durch die Photographie auch die Lage gewisser Teile in verschiedenen Ebenen deutlich fixieren. Auf Bild 12 bemerkt man ganz links am Rande einen großen hellen halbmondförmigen Streifen, dies ist ein Teil des Cornealreflexes, welcher dadurch in das Gesichtsfeld kam, daß die Patientin bei der Aufnahme mit ihrem Auge zu weit vom Apparat entfernt war. Bild 13 ist ebenfalls eine hochgradige Myopie, es ist das rechte Auge einer 39 jährigen Patientin, welche außerdem an multipler Sklerose mit Nystagmus litt. Während der Aufnahme machte das Auge stark schwingende Bewegungen von oben nach unten. Man sieht, daß dies bei der momentanen Beleuchtung der Schärfe des Bildes keinen Nachteil gebracht hat. Hier möchte ich auf die tiefe Exkavation aufmerksam machen, welche sich nach links von der Gefäßpforte erstreckt. Wie schon vorhin bemerkt, ist hier der übrige Augenhintergrund schon viel weniger wirksam für die Platte. Noch auffälliger ist dies auf dem letzten Bilde, einer Chorioiditis bei einer 60jährigen Frau. Diese Aufnahme stellt das linke Auge dar. Daß ich in den anderen Fällen das rechte Auge photographiert habe, ist nur

deswegen geschehen, weil die Einstellung der Fixierlampe dann immer dieselbe bleiben konnte. Natürlich ist es prinzipiell ganz dasselbe, ob das linke oder das rechte Auge photographiert wird. In diesem Falle (Bild 14) befinden sich die Herde in der Makulagegend. Deutlich sind hier die sklerosierten Chorioideal-Gefäße sichtbar, welche alle in ihrem Verlauf nach einem gemeinsamen Punkt nach links hin zielen. Vom übrigen Augenhintergrunde ist auf diesem Bilde gar nichts mehr zu erkennen.

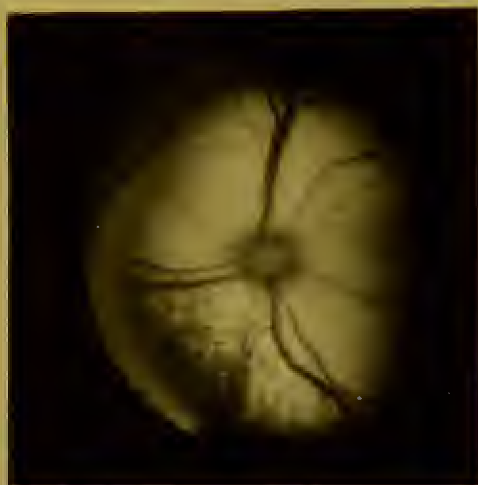
Wenn wir nun zum Schluß fragen, welchen Nutzen die Photographie des Augenhintergrundes voraussichtlich bringen wird, so darf man sich nicht vorstellen, daß man einfach jeden Fall, den man ophthalmoskopiert, auch photographieren kann. Denn die Photographie stellt die höchsten Anforderungen an die optische Leistungsfähigkeit des Auges, und Trübungen jeder Art verhindern dieselbe. Das Hauptanwendungsgebiet werden jugendliche Personen sein, und wo die Photographie möglich ist, da stellt sie auch eine sehr leichte und sehr genaue Art dar, den Befund fest zu legen. Man vermißt zwar die schöne Farbenzeichnung, was aber die Größenverhältnisse anbetrifft und die Lage der einzelnen Teile zu einander, so vermag hierin nichts die Photographie zu ersetzen. Durch die genauen Gefäßmessungen, die möglich sind, ist man imstande, Kaliberschwankungen der Gefäße auf das sicherste festzustellen mit einer Genauigkeit von $^1/_{100}$ mm. Man kann den Einfluß verschiedener Arzneimittel oder sonstiger physikalischer Bedingungen aller Art auf den Körper durch solche Photographien der Gefäße kontrollieren. Einen noch größeren Spielraum gewährt diese Methode bei Tieren, die mehr dem Experimente zugänglich sind als der Mensch, und hier dürfte sich besonders die Katze zu weiteren Versuchen eignen. Das Fortschreiten von Krankheitsprozessen kann in allen Stadien verfolgt werden. Endlich sei noch auf die Möglichkeit der stereoskopischen Photographie hingewiesen. Wenn wir im vorigen Kapitel gesehen haben, daß zur stereoskopischen Beobachtung des Augenhintergrundes verhältnismäßig komplizierte Vorrichtungen erforderlich sind, so ist dies bei der stereoskopischen Photographie nicht der Fall, denn hier können wir die beiden notwendigen Aufnahmen nacheinander machen, indem einmal die rechte Pupillenhälfte zum Lichteintritt, die linke zur Photographie, und ein zweites Mal die linke zum Lichteintritt und die rechte zur Photographie dient. Es ist dazu notwendig, den Augenspiegel entweder selbst drehbar zu machen, oder in einem Gestell so zu befestigen, daß er nach unten hängt.

Es soll noch bemerkt werden, daß ein Schaden durch die Auf-

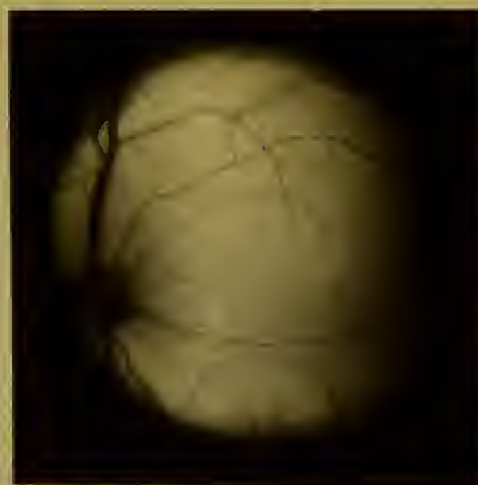
nahmen an den Personen niemals beobachtet worden ist. Ich habe auf das genaueste Sehschärfe, Gesichtsfeld und Farbenperzeption kontrolliert und trotz zahlreicher Aufnahmen nicht den geringsten Nachteil bemerken können. Es ist dies ja auch von vornherein nicht zu erwarten, da die Helligkeit nicht eine größere wird, als wenn man mit bloßem Auge in einen Magnesiumblitz sieht, ja nur halb so gross, da nur die halbe Pupillenhälfte beleuchtet ist. Mehr als zwei Aufnahmen desselben Auges habe ich übrigens vorsichtshalber am gleichen Tage nicht gemacht. Diese Aufnahmen erfolgten mit einem Zwischenraum von zehn Minuten. Auch die Möglichkeit, das Auge im Dunkeln zu photographieren, ist hiermit gegeben. Es würden sich dazu nur besonders geschickte Personen eignen, welche die einmal gegebene Stellung innehalten, wenn man nicht zu anderen Mitteln der Fixierung greifen will. Man wäre so imstande, auch ein Auge, das längere Zeit im Dunkeln gewesen ist, zu beobachten. Vielleicht treten Veränderungen in dem Kaliber der Gefäße auf, die auf andere Weise nicht festgestellt werden können. Es eröffnet sich für die Photographie ein weites Anwendungsgebiet. Ob dieselbe noch größerer Verbesserungen fähig ist, weiß ich nicht. Ich sehe jedenfalls zur Zeit keine Möglichkeit, wie solche Verbesserungen erzielt werden können, und ich glaube, daß sie auf dem jetzigen Standpunkte wohl einer praktischen Verwendung fähig ist, besonders da die Methode eine verhältnismäßig leichte ist und dabei sichere Resultate ergibt.

Druck von L. Schumacher in Berlin.

I



1.



2.

Verlag von August Hirschwald, Berlin

Meisenbach Riffarth & Co Berlin


3.


4.


5.


6.

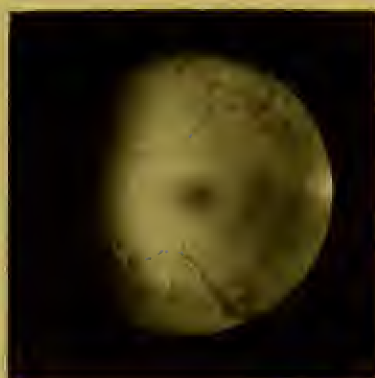

7.


8.

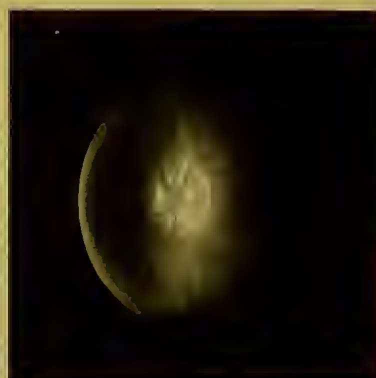
Verlag von August Hirschwald, Berlin

Meisenbach Riffarth & Co.


9.


10.


11.


12.


13.


14.

Verlag von August Hirschwald, Berlin.

Meisenbach Riffarth & Co. Berlin.